



TUGAS AKHIR - RG 141536

EVALUASI PENURUNAN TANAH WILAYAH KOTA SURABAYA DAN PERCEPATANNYA MENGGUNAKAN GPS GEODETIK DAN PERANGKAT LUNAK GAMIT/GLOBK

REGA HANGASTA GIENPUTRA
NRP 3513 100 085

Dosen Pembimbing
Akbar Kurniawan ST., MT

DEPARTEMEN TEKNIK GEOMATIKA
Fakultas Teknik Sipil Dan Perencanaan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2017



TUGAS AKHIR – RG 141536

EVALUASI PENURUNAN TANAH WILAYAH KOTA SURABAYA DAN PERCEPATANNYA MENGGUNAKAN GPS GEODETIK DAN PERANGKAT LUNAK GAMIT/GLOBK

REGA HANGASTA GIENPUTRA
NRP 3513 100 085

Dosen Pembimbing
Akbar Kurniawan ST., MT.

DEPARTEMEN TEKNIK GEOMATIKA
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Institut
Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2017

“Halaman ini sengaja dikosongkan”



FINAL ASSIGNMENT – RG 141536

EVALUATING LAND SUBSIDENCE AND ACCELERATION OF LAND SUBSIDENCE IN SURABAYA USING GEODETICS GPS AND GAMIT/GLOBK SOFTWARE

REGA HANGASTA GIENPUTRA
NRP 3513 100 085

Supervisor
Akbar Kurniawan ST., MT.

Geomatics Engineering Department
Faculty of Civil Engineering and Planning
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2017

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

EVALUASI PENURUNAN TANAH WILAYAH KOTA
SURABAYA DAN PERCEPATANNYA MENGGUNAKAN
GPS GEODETIK DAN PERANGKAT LUNAK
GAMIT/GLOBK

Nama Mahasiswa : Rega Hangasta Gienputra
NRP : 3513 100 085
Jurusan : Teknik Geomatika FTSP – ITS
Pembimbing : Akbar Kurniawan ST., MT

ABSTRAK

Sebagai ibukota Propinsi Jawa Timur, Surabaya mengalami perkembangan pembangunan yang sangat pesat. Hal ini dapat dilihat dari sektor perdagangan, perindustrian, perekonomian, pemukiman, dan pariwisata yang berada pada kota Surabaya. Perkembangan Kota Surabaya ini tentunya menyebabkan peningkatan penggunaan air tanah. Keterbatasan sumber daya air bersih untuk kebutuhan industri, perdagangan dan pemukiman mengakibatkan meningkatnya penggunaan sumur bor untuk memenuhi kebutuhan air. Konsekuensi dari pemanfaatan air tanah secara terus menerus dan dalam kapasitas yang besar adalah penurunan tinggi muka tanah.

Terletak di pemukiman padat penduduk, penurunan tanah/land subsidence menjadi salah satu faktor yang harus diawasi. Penurunan tanah (land subsidence) terjadi secara perlahan sehingga analisisnya perlu dilakukan secara berkala (fungsi waktu). Pemantauan land subsidence dapat dilakukan dengan beberapa metode, salah satunya menggunakan Global Navigation Satellite System (GNSS) khususnya Global Positioning System (GPS, satelit milik Amerika Serikat). Selain penggunaan GPS geodetik dan Stasiun IGS (International GNSS Service) sebagai titik ikat, penelitian ini digunakan perangkat

lunak GAMIT/GLOBK. Pada proses penelitian ini dimulai dari akuisisi data, pengolahan baseline, perataan jaring dan filtering.

Dari analisa hasil pengolahan data GPS yang diamati dari bulan Juli 2011 hingga Februari 2017, didapatkan nilai laju penurunan tanah/subsidence pada semua titik berkisar pada rata-rata -8.83 mm/tahun. Laju penurunan tanah tertinggi berada pada -13,93 mm/tahun pada titik Kalianak. Laju penurunan tanah terendah berada pada -0,18 mm/tahun pada titik Sbrt di Dukuh Pakis. Terdapat empat titik yang mengalami penurunan tanah secara signifikan (Pusat, Kalianak, ITS, Waru), dan terdapat tiga titik yang mengalami penurunan tanah bersifat tidak signifikan atau hanya bersifat numeris (Kenjeran, Rungkut, Sbrt/Dukuh Pakis).

Kata Kunci: GPS, Kota Surabaya, GAMIT/GLOBK, Penurunan Tanah

EVALUATING LAND SUBSIDENCE AND ACCELERATION OF LAND SUBSIDENCE IN SURABAYA USING GEODETICS GPS AND GAMIT/GLOBK SOFTWARE

Name : Rega Hangasta Gienputra
NRP : 3513 100 085
Departement : Geomatics Engineering, FTSP – ITS
Supervisor : Akbar Kurniawan ST., MT

ABSTRACT

As the capital of East Java province, Surabaya progressing very rapid development. It can be seen from the sectors of trading, industry, economy, housing, and tourism in Surabaya. The development of Surabaya City certainly causes an increase in ground water usage. Limitations of clean water resources for industrial, commercial and residential needs result in increased use of drilling wells to meet water needs. The consequence of continuous groundwater utilization and in large capacity is the decrease of ground level.

Situated in densely populated settlements, land subsidence is one factor which must be supervised. Land subsidence occurs slowly so that the analysis needs to be done periodically (function of time). Monitoring land subsidence can be done by several methods, one of them uses the Global Navigation Satellite System (GNSS) especially Global Positioning System (GPS). In addition to GPS geodetic and IGS Stations as reference point, this study also using GAMIT/GLOBK scientific software. In this research process starts from data acquisition, baseline processing, adjustment of gps networks and filtering.

From the results of processing of GPS data observed from July 2011 to February 2017, obtained the value of land subsidence rate at all points on the average -8.83 mm/year. The highest value of land subsidence rate is -13.93 mm/year on Kalianak. The lowest value of land subsidence rate is -0.18

mm/year on Sbrt. There are four points which are significantly declined and three points which are insignificantly declined or numerically declined.

Keyword: GPS, Land Subsidence, GAMIT/GLOBK, Surabaya

**EVALUASI PENURUNAN TANAH WILAYAH KOTA
SURABAYA DAN PERCEPATANNYA MENGGUNAKAN
GPS GEODETIK DAN PERANGKAT LUNAK
GAMIT/GLOBK**

TUGAS AKHIR

**Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
Pada
Jurusan S-1 Teknik Geomatika
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember**

**Oleh :
REGA HANGASTA GIENPUTRA
NRP. 3513 100 085**

Disetujui oleh Pembimbing Tugas Akhir:

Akbar Kurniawan ST, MT

NIP. 19860518 201212 1 002



SURABAYA, JUNI 2017

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur saya sampaikan kehadirat Allah SWT atas segala limpahan rahmat, taufiq dan hidayah-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan penelitian untuk tugas akhirnya yang berjudul **“Evaluasi Penurunan Tanah Wilayah Kota Surabaya dan Percepatannya Menggunakan GPS Geodetik dan Perangkat Lunak GAMIT/GLOBK”** dengan lancar.

Selama pelaksanaan penelitian untuk tugas akhir penulis ini, banyak pihak yang telah memberikan bantuan dan dukungan kepada penulis. Untuk itu, penulis mengucapkan terima kasih kepada :

1. Kedua orang penulis, Bapak Sugiyono dan Ibu Nurlailis yang selalu memberikan doa dan dukungannya untuk kelancaran penelitian ini.
2. Keluarga penulis, Regita Sari G, Ray Tama Gani G, Nenek, Om, Tante, Pakde, dan lain-lain
3. Bapak Mokhammad Nur Cahyadi, ST., M.Sc., Ph.D., selaku Ketua Jurusan Teknik Geomatika ITS.
4. Bapak Akbar Kurniawan, S.T., M.T., selaku dosen pembimbing penulis dan dosen wali penulis. Terima kasih atas kesempatan, kesabaran serta dukungan dalam bimbingan hingga dapat terselesaikannya tugas akhir ini.
5. Teman-teman Jurusan Teknik Geomatika ITS, khususnya angkatan 2013 atas dukungan dan semangat yang telah diberikan.
6. Teman-teman yang membantu proses pengukuran untuk pengambilan data penelitian (Taza, Juki dan Teman Juki, Dito, Gatot, Fadhil, Ghilman, Wildan, Rino, Dani, Eva, Aji)
7. Teman-teman nongkrong SMA 17 Surabaya (Ricky, Champi, Guruh, Fahmi, Dani, Chandra, Yogi, dan Enjel), teman-teman nongkrong SMA 6 Depok (Fakhri, Ghera, Kresna, Fajri, Geni, Isman, dan Leo), teman-teman Hublu HIMAGE dan teman-teman EM BEM ITS. Terimakasih atas waktu dan kesederhanaan teman-teman.

8. Pihak-pihak yang tidak bisa disebutkan satu persatu, yang telah membantu penulis.

Kritik dan saran yang membangun sangat diharapkan oleh penulis untuk penyempurnaan penelitian ini. Semoga laporan ini dapat bermanfaat untuk semua pihak, khususnya untuk mahasiswa Jurusan Teknik Geomatika Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

Surabaya, Juni 2017

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
LAMAM JUDUL.....	iii
ABSTRAK	v
<i>ABSTRACT</i>	vii
KATA PENGANTAR.....	xi
DAFTAR ISI	xiii
DAFTAR GAMBAR	xv
DAFTAR TABEL	xviii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang Masalah	1
1.2. Perumusan Masalah.....	3
1.3. Batasan Masalah.....	3
1.4. Tujuan Tugas Akhir.....	4
1.5. Manfaat Penelitian.....	4
BAB II LANDASAN TEORI	5
2.1. Penurunan Tanah (<i>Land Subsidence</i>)	5
2.2. Geologi Surabaya	9
2.3. Global Positioning System (GPS)	10
2.3.1. Pengamatan dengan GPS.....	11
2.3.2. Penentuan Posisi dengan GPS	13
2.3.3. Penentuan Tinggi dengan GPS.....	16
2.3.4. Kesalahan dan Bias GPS	18
2.4. Pemantauan Penurunan Tanah dengan Satelit GPS.....	27
2.5. GAMIT/GLOBK	29
2.6. Uji Hipotesis.....	31
2.7. Regresi Linier	33
2.8. Percepatan.....	33
2.9. Penelitian Terdahulu.....	36
BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....	43
3.1. Lokasi Penelitian	43
3.2. Data dan Peralatan	44
3.3. Metodologi Penelitian	47

3.3.1. Tahapan Penelitian	47
3.4. Diagram Alir Penelitian.....	48
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	61
4.1. Hasil Pengolahan Data Pengamatan GPS.....	61
4.2. Hasil Penaikan/Penurunan Tanah	64
4.3. Hasil Uji Statistika.....	67
4.4. Percepatan Penurunan Tanah.....	70
4.5. Analisa Penurunan Tanah.....	70
BAB V KESIMPULAN	81
5.1. Kesimpulan.....	81
5.2. Saran	82
DAFTAR PUSTAKA.....	83
LAMPIRAN	
BIODATA PENULIS	

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Bagaimana Sebuah Subsidence/Amblesan Terjadi ...	5
Gambar 2.2 Retakan Jalan Diakibatkan <i>Subsidence</i> /Amblesan	6
Gambar 2.3 <i>Subsidence</i> /Amblesan akibat Pengambilan Cairan Bawah Permukaan	7
Gambar 2.4 <i>Sinkholes</i> /Lubang Runtuhan Di Jalan Raya Bowling Green, Amerika Serikat	8
Gambar 2.5 Endapan Sedimen	8
Gambar 2.6 Satuan morfologi daerah Surabaya.....	9
Gambar 2.7 Ilustrasi Pengukuran Pseudorange.....	12
Gambar 2.8 Ilustrasi Pengukuran <i>Carrier Phase</i>	13
Gambar 2.9 Prinsip Dasar Penentuan Posisi dengan GPS	14
Gambar 2.10 Penentuan Posisi dengan GPS	15
Gambar 2.11 Tinggi <i>Ellipsoid</i> dan Tinggi Orthometrik	16
Gambar 2.12 Penentuan Tinggi secara Diferensial	17
Gambar 2.13 <i>Selective Availability</i>	20
Gambar 2.14 Kesalahan Jam Satelit.....	21
Gambar 2.15 <i>Multipath</i>	22
Gambar 2.16 Efek Troposfer terhadap Sinyal GPS.....	25
Gambar 2.17 <i>Cycle Slip</i>	26
Gambar 2.18 Grafik regresi untuk nilai b positif (a) dan grafik regresi untuk nilai b negatif (b)	34
Gambar 2.19 Tampilan geometris pada saat $t = t_1$ sama dengan kemiringan garis singgung pada $\frac{\Delta v_3}{\Delta t_3}$	36
Gambar 2.20 Persebaran Titik Pengamatan Penurunan Tanah Pesisir Kota Surabaya	40
Gambar 3.1 Detil Titik Pengamatan Penelitian.....	43
Gambar 3.2 Diagram Alir Tahapan Penelitian	47
Gambar 3.3 Diagram Alir Pengumpulan Data	49

Gambar 3.4 Diagram Alir Pengolahan Data.....	50
Gambar 3.5 Contoh Struktur Direktori Kerja dan Organisasi Data	55
Gambar 4.1 <i>Plotting</i> Penurunan Tanah Berdasarkan Penelitian 2007, 2009, 2010, 2011 dan 2017 Titik Kalianak...	76
Gambar 4.2 <i>Plotting</i> Penurunan Tanah Berdasarkan Penelitian 2007, 2009, 2010, 2011 dan 2017 Titik Kota	76
Gambar 4.3 <i>Plotting</i> Penurunan Tanah Berdasarkan Penelitian 2007, 2009, 2010, 2011 dan 2017 Titik Sbtr.....	77
Gambar 4.4 <i>Plotting</i> Penurunan Tanah Berdasarkan Penelitian 2007, 2009, 2010, 2011 dan 2017 Titik Kenjeran...	77
Gambar 4.5 <i>Plotting</i> Penurunan Tanah Berdasarkan Penelitian 2007, 2009, 2010, 2011 dan 2017 Titik Waru	78
Gambar 4.6 <i>Plotting</i> Penurunan Tanah Berdasarkan Penelitian 2007, 2009, 2010, 2011 dan 2017 Titik ITS	78

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Data Koordinat Pengamatan GPS Tahun 2007	37
Tabel 2.2 Data Koordinat Pengamatan GPS Tahun 2010	37
Tabel 2.3 Data Koordinat Pengamatan GPS Tahun 2009	38
Tabel 2.4 Data Koordinat Pengamatan GPS Tahun 2011	38
Tabel 2.5 Data Pengamatan Menggunakan DInSAR Tahun 2009- 2011	39
Tabel 2.6 Sebaran Pengamatan Penurunan Tanah di Wilayah Pesisir Kota Surabaya	41
Tabel 3.1 Spesifikasi GPS Topcon HiperPro	45
Tabel 4.1 Data Koordinat Pengamatan GPS Bulan Juli Tahun 2011	62
Tabel 4.2 Data Koordinat Pengamatan GPS Bulan Oktober Tahun 2016	62
Tabel 4.3 Data Koordinat Pengamatan GPS Bulan Desember Tahun 2016	63
Tabel 4.4 Data Koordinat Pengamatan GPS Bulan Oktober Tahun 2016	63
Tabel 4.5 Selisih Vertikal Antar Kala	65
Tabel 4.6 Selisih Vertikal Seluruh Kala	66
Tabel 4.7 Selisih Vertikal Seluruh Kala	66
Tabel 4.8 Hasil Uji <i>T-Test</i>	69
Tabel 4.9 Hasil Perhitungan Percepatan	70
Tabel 4.10 Hasil Uji <i>T-Test</i> Tidak Signifikan	71
Tabel 4.11 Hasil Perbedaan Penelitian 2017 dengan 2007	73
Tabel 4.12 Hasil Perbedaan Penelitian 2017 dengan 2009	73
Tabel 4.13 Hasil Perbedaan Penelitian 2017 dengan 2010	74
Tabel 4.14 Penurunan Tanah Berdasarkan Penelitian 2007, 2009, 2010, 2011 dan 2017	75

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. *Control Files* GAMIT/GLOBK

Lampiran 2. *Plot Time-series* Stasiun Pengamat

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang Masalah

Penurunan muka tanah merupakan permasalahan yang umum terjadi di kota - kota besar. Penurunan tanah merupakan hal yang serius terutama ketika terjadi pada kota yang daerahnya berada pada pesisir pantai. Kondisi tersebut karena daerah pesisir sangat rentan terhadap tekanan lingkungan, baik yang berasal dari daratan maupun dari lautan.

Sebagai ibukota Propinsi Jawa Timur, Surabaya mengalami perkembangan pembangunan yang sangat pesat. Hal ini dapat dilihat dari sektor perdagangan, perindustrian, perekonomian, pemukiman, dan pariwisata yang berada pada kota Surabaya. Berdasarkan informasi pemerintah kota Surabaya pada wilayah Surabaya bagian utara didominasi oleh kawasan industri dan pelabuhan. Untuk *real estate* penyebarannya ke pinggiran kota sebelah barat, timur dan selatan. Sedangkan pada Kota Surabaya bagian barat dinilai perkembangannya cukup lambat jika dibandingkan dengan yang di timur. Dengan semakin berkembangnya kawasan industri di Surabaya maka bertambah pula jumlah penduduk di Surabaya. Berdasarkan data jumlah penduduk Badan Pusat Statistik Provinsi Jawa Timur jumlah penduduk di Kota Surabaya pada tahun 2010 adalah 2.771.615 jiwa dan terus mengalami peningkatan hingga pada tahun 2014 mencapai 2.833.924 jiwa dan pada tahun 2015 sebesar 2.848.583 jiwa. Dengan tingkat laju pertumbuhan penduduk sebesar 0.55% per tahunnya tentu berdampak pula dengan kebutuhan wilayah pemukiman di Surabaya.

Selain pemukiman, perkantoran di wilayah kota Surabaya juga berkembang pesat. Perkembangan Kota Surabaya ini tentunya menyebabkan peningkatan penggunaan air tanah. Keterbatasan sumber daya air bersih untuk kebutuhan industri, perdagangan dan pemukiman mengakibatkan meningkatnya

penggunaan sumur bor untuk memenuhi kebutuhan air. Konsekuensi dari pemanfaatan air tanah secara terus menerus dan dalam kapasitas yang besar adalah penurunan tinggi muka air tanah dan penurunan volume air tanah pada gilirannya dapat mempengaruhi permukaan tanah yang berada diatas akuifer (Abidin,2004).

Karena pertumbuhan kota Surabaya yang begitu pesat, penurunan tanah/*land subsidence* menjadi salah satu faktor yang harus diawasi. Penurunan tanah (*land subsidence*) terjadi secara perlahan sehingga analisisnya perlu dilakukan secara berkala (fungsi waktu). Pemantauan *land subsidence* dapat dilakukan dengan beberapa metode, salah satunya menggunakan *Global Navigation Satellite System* (GNSS) khususnya *Global Positioning System* (GPS, satelit milik Amerika Serikat).

GNSS atau *Global Navigation Satellite System* adalah sebuah konstelasi satelit, yang mentransmisikan sinyal berguna untuk aplikasi navigasi dan pemosisian, dimanapun di permukaan bumi. GPS atau *Global Positioning System* adalah sistem radio-navigasi seluruh dunia terdiri dari sebuah konstelasi 24 satelit dan titik dipermukaan yang diluncurkan oleh Amerika Serikat. Untuk mengetahui posisi di permukaan bumi, perlu menggunakan *receiver* GPS. *Receiver* GPS menawarkan penandaan lokasi dengan ketelitian yang cukup baik (m-cm). Namun, *land subsidence* berubah dengan perlahan sehingga tidak memungkinkan untuk menggunakan *receiver* GPS *handheld*, dikarenakan ketelitian alat yang berkisar hanya sampai satuan meter (m) saja. Penggunaan *receiver* GPS Geodetik yang diikatkan ke *Continuously Operating Receiver Stations* (CORS) dapat meningkatkan ketelitian hingga millimeter (mm), sehingga memungkinkan untuk mendeteksi adanya *land subsidence*.

Pemantauan penurunan tanah (*land subsidence*) ini menggunakan GNSS terutama GPS Geodetik yang diikatkan pada Stasiun IGS. Selain penggunaan GPS Geodetik dan Stasiun IGS, penelitian ini digunakanlah perangkat lunak GAMIT/GLOBK. GAMIT (*GPS Analysis Software of Massachusetts Institute of*

Technology and Scripps Institution of Oceanography)/GLOBK (*Global Kalman filter VLBI and GPS analysis program*) sendiri merupakan perangkat lunak pengolah data GPS buatan Massachusetts Institute of Technology (MIT) berbasis *scientific*.

Penelitian ini dilaksanakan di wilayah kota Surabaya dalam kurun waktu singkat Oktober 2016, Desember 2016 dan Februari 2017. Diharapkan, penelitian ini dapat berguna sebagai data acuan untuk keperluan masyarakat luas khususnya wilayah kota Surabaya. Terutama, apabila penurunan tanah secara signifikan yang dapat berakibat bergesernya struktur bangunan dan berpotensi merusak fasilitas umum.

1.2. Perumusan Masalah

Perumusan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Seberapa besar nilai penurunan tanah yang terjadi pada wilayah kota Surabaya?
2. Seberapa besar nilai kecepatan dan percepatan penurunan tanah di kota Surabaya?
3. Bagaimana keterkaitan nilai penurunan tanah dengan penelitian terdahulu?

1.3. Batasan Masalah

Adapun batasan masalah yang akan dibahas dalam penelitian ini yaitu:

1. Pengambilan data dengan GPS dilakukan selama empat kala, mulai bulan Juli 2011, Oktober 2016, Desember 2016 dan Februari 2017.
2. Pengolahan data penurunan tanah dilakukan dengan software GAMIT/GLOBK.
3. Pengambilan data elevasi setiap lokasi untuk mengetahui penurunan tanah di wilayah kota Surabaya.
4. Hasil dan analisa penelitian ini menitik beratkan pada evaluasi penurunan tanah dari hasil pemantauan yang dilakukan berdasarkan data yang telah ada sebelumnya.

1.4. Tujuan Tugas Akhir

Adapun tujuan dalam penelitian ini yaitu:

1. Mengetahui besarnya penurunan tanah di wilayah kota Surabaya menggunakan hasil pemantauan dengan GPS secara langsung.
2. Mengetahui kecepatan dan percepatan penurunan tanah dari data yang telah ada sebelumnya.
3. Mengevaluasi penurunan tanah dari hasil pemantauan yang dilakukan berdasarkan data yang telah ada sebelumnya.

1.5. Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah:

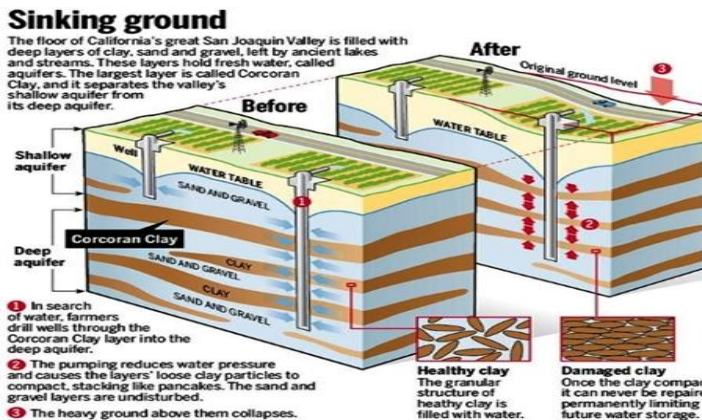
1. Perencanaan prasarana untuk pembangunan berkelanjutan terkait nilai penurunan tanah yang terjadi pada suatu daerah tertentu
2. Pengendalian banjir dilihat dari titik yang memiliki elevasi lebih rendah dan tingkat penurunan tanah yang tinggi
3. Kebijakan penggunaan air tanah berdasarkan nilai penurunan tanah
4. Pengendalian intrusi air laut ketika penggunaan air tanah dilakukan secara terus menerus dengan kapasitas yang besar

BAB II

LANDASAN TEORI

2.1. Penurunan Tanah (*Land Subsidence*)

Penurunan tanah (*land subsidence*) adalah perpindahan level atau tenggelamnya permukaan bumi dikarenakan pergerakan material bumi (Fulton, 2008). Penurunan tanah dapat diakibatkan oleh bertambahnya beban atau berkurangnya tekanan hidrolik pada lapisan tanah. Penambahan beban dapat terjadi akibat beban bangunan di atasnya maupun beban tanah itu sendiri atau hilangnya buayansi (daya apung/angkat) tanah akibat hilangnya air dalam ruang antar pori sehingga tekanan efektif menjadi bertambah. Sedangkan, berkurangnya tekanan hidrolik dapat diakibatkan oleh hilangnya kompresibilitas tinggi, penambahan beban bagian atasnya dapat menyebabkan air dalam pori akan terperas keluar dan menyebabkan terjadinya konsolidasi yang menerus menyebabkan terjadinya penurunan tanah (Bukhori, 2011). Pada Gambar 2.1 dijelaskan bagaimana penurunan muka tanah terjadi.



Gambar 2.1 Bagaimana Sebuah Subsidence/Amblesan Terjadi

(Sumber: Krieger, 2014)

Land Subsidence sendiri didefinisikan penurunan tanah sebagai fungsi dari waktu, atau dapat juga disebut *land subsidence* vertikal, yang artinya perubahan kedudukan vertikal dari permukaan tanah terhadap bidang referensi yang dianggap tetap (Prawoko, 2008). Pada Gambar 2.2, terdapat retakan jalan yang diakibatkan oleh *subsidence*/amblesan. Beberapa hal yang menyebabkan penurunan tanah antara lain sebagai berikut (Abidin, 2007):

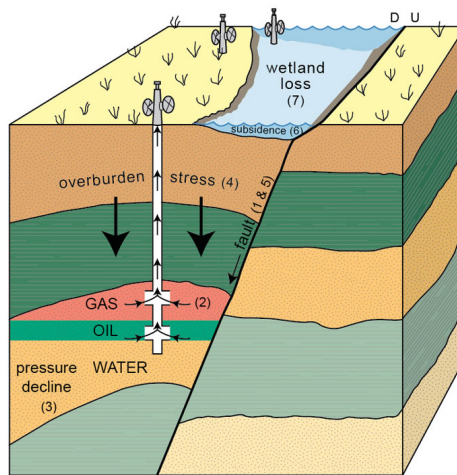
1. Pengambilan air tanah yang berlebihan
2. Penurunan karena beban bangunan (*settlement*)
3. Penurunan karena adanya konsolidasi alamiah dari lapisan-lapisan tanah
4. Penurunan karena gaya-gaya tektonik



Gambar 2.2 Retakan Jalan Diakibatkan *Subsidence*/Amblesan
(Sumber: Central Iron County Water Conservancy District, 2014)

Penarikan cairan bawah permukaan (air, gas, dan minyak) dengan skala besar selalu bersamaan dengan *subsidence*/amblesan (seperti Gambar 2.3) dimana menjadi beberapa bencana alam, apabila terjadi pada lokasi seperti kawasan residensial ataupun lingkungan industrial. Kerugian akibat hal tersebut dapat dipelajari dengan uji sampel batu reservoir dan cairan bawah permukaan, diikuti dengan simulasi matematis. Uji pendahuluan ini akan mengungkapkan lokasi dan jumlah pemadatan, dan

kemungkinan adanya amblesan berikutnya, apabila cairan bawah permukaan diambil dengan jumlah tertentu. Penilaian kemungkinan ancaman terhadap lingkungan tersebut dapat dilakukan sebelum proses ekstraksi cairan bawah permukaan dilakukan. Jika prediksi tersebut terdapat potensi kerusakan lingkungan yang cukup parah, perlu dilakukan program injeksi air untuk menggantikan cairan yang terdapat di bawah permukaan, atau proyek tersebut dihentikan.



Gambar 2.3 *Subsidence*/Amblesan akibat Pengambilan Cairan Bawah Permukaan
(Sumber: U. S. Geological Survey, diakses pada Januari 2017)

Penarikan cairan bawah permukaan menghasilkan amblesan dengan dua prinsip:

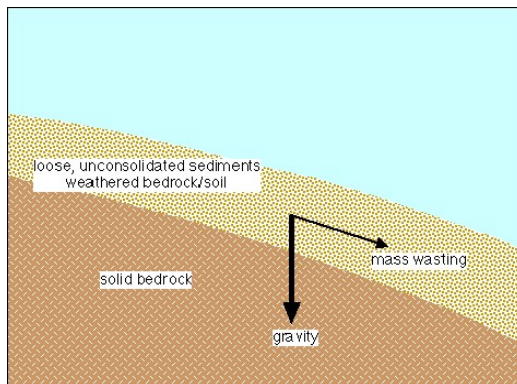
1. *Sinkholes*/lubang runtuh yang terkait dengan batuan karbonat,
2. Endapan sedimen yang tersimpan di lautan, lakustrin, dan aluvial.

Sinkholes/lubang runtuh adalah gua-gua besar yang penuh dengan endapan sedimen yang secara *buoyant* (gaya mengapung

suatu materi di air) didukung oleh air tanah dangkal. Dukungan apungan akan hilang ketika permukaan air lebih rendah, seperti di banyak kasus amblesan dimana lokasi tersebut cukup kecil, dibawah 50 meter pada diameternya. Pilar tambang terbengkalai yang terisi dengan endapan sedimen, dapat menimbulkan *subsidence*/amblesan permukaan yang serupa.



Gambar 2.4 *Sinkholes*/Lubang Runtuhan Di Jalan Raya Bowling Green, Amerika Serikat
(Sumber: Waltham, 2005)



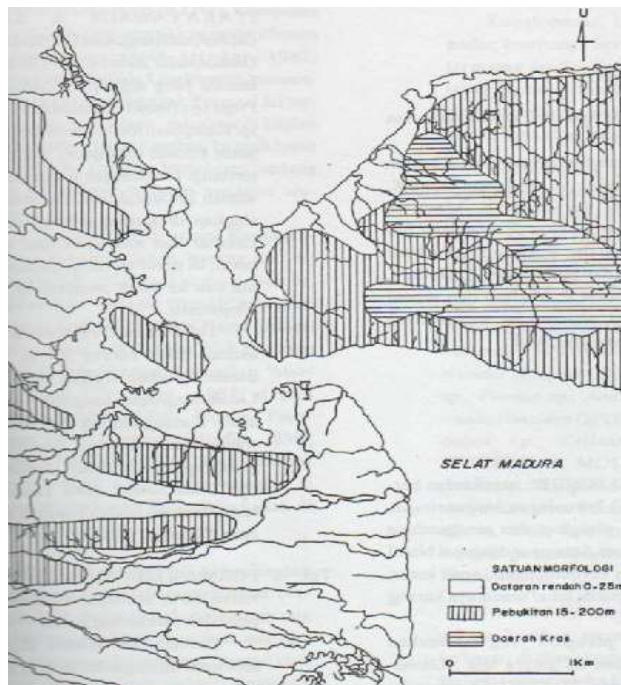
Gambar 2.5 Endapan Sedimen
(Sumber: Long Island University, diakses pada Januari 2017)

Banyak metode tersedia untuk memantau penurunan tanah. Adapun metode untuk memantaunya yakni *vertical extensometer*, baseline dan pengukuran berulang menggunakan Global

Positioning System (GPS) atau metode survey konvensional, dan *Interferometric Synthetic Aperture Radar* (InSAR) (Fulton, 2008). Karena kecepatan penurunan tanah relatif lambat, maka pemantauan land subsidence sebaiknya dilakukan dengan rentang waktu atau periodik.

2.2. Geologi Surabaya

Daerah Surabaya secara fisiografi termasuk bagian timur perbukitan kendeng, bagian tengah perbukitan Rembang-Madura, pedataran aluvium Jawa sebelah utara, pedataran tengah Jawa Timur dan bagian timur lekuk Randublatung.



Gambar 2.6 Satuan morfologi daerah Surabaya
(Geologi Lembar Surabaya & Sapulu,1992)

Pedataran rendah menjulang hingga 25m diatas permukaan laut dan terbentang dibagian selatan dan tengah lembar. Pada bagian selatan merupakan bagian dari delta Sidoarjo yang dibentuk oleh K.Surabaya dan K.Porong. Sungai yang terbentuk pada daerah ini banyak dipengaruhi oleh struktur, terutama lipatan dan sesar, dimana aliran sungai membawa muatan bahan letusan gunung berapi sehingga mencapai pegunungan Kendeng.

Pada bagian lajur Kendeng dan Lajur Rembang-madura terbentuk dari batuan sedimen kelanjutan dari Jawa Tengah. Batuan yang tergabung dalam Lajur Kendeng antara lain : formasi Sonde, Formasi Lidah, Formasi Pucangan, dan Formasi Kabuh. Pada Lajur Rembang-Madura terdapat formasi Tawun, Formasi Madura, Formasi Lidah dan Formasi Pamekasan.

Daerah Surabaya pada umumnya berupa endapan aluvial yang tersebar diseluruh wilayah Surabaya, dimana endapannya berupa kerakal, kerikil, pasir dan lempung.

2.3. Global Positioning System (GPS)

Global Positioning System (GPS) adalah sistem navigasi berbasis satelit yang dikembangkan oleh US *Department of Defense* (DoD) di awal 1970-an. Pada awalnya, GPS dikembangkan sebagai sistem militer untuk memenuhi kebutuhan militer Amerika Serikat. Namun lama setelah itu, akses tersebut dibuat tersedia untuk warga sipil dan sekarang menggunakan dual-sistem yang dapat diakses oleh pengguna militer dan sipil.

GPS menyediakan penentuan posisi secara terus-menerus dan informasi waktu, dimana saja di dunia dan di bawah semua kondisi cuaca. Karena, hal itu berfungsi pada pengguna dengan jumlah tidak terbatas serta digunakan untuk alasan keamanan, GPS adalah sistem *one-way-ranging* (pasif). Dalam hal ini, pengguna hanya dapat menerima sistem, komponen, dan ide dasar.

GPS terdiri dari tiga segmen: segmen ruang angkasa, segmen kontrol dan segmen pengguna. Segmen ruang angkasa terdiri dari 24 konstelasi satelit. Masing-masing satelit GPS

mengirimkan sinyal, yang memiliki sejumlah komponen: dua gelombang sinus (juga dikenal sebagai frekuensi pembawa), dua kode digital dan pesan navigasi. Kode dan navigasi pesan ditambahkan ke operator sebagai biner modulasi dua-fase *binary*. Operator dan kode digunakan terutama untuk menentukan jarak dari alat pengguna ke satelit GPS. Navigasi pesan berisi, bersamaan informasi lain, koordinat (lokasi) satelit sebagai fungsi dari waktu. Sinyal yang tertransmisi dikendalikan oleh jam atom yang sangat akurat di dalam satelit GPS.

GPS telah merevolusi bidang survei dan navigasi sejak tahap awal pengembangan. Walaupun GPS ini awalnya dirancang sebagai sistem militer, aplikasi sipil telah tumbuh lebih cepat. Untuk masa ke depan, dikatakan bahwa jumlah aplikasi GPS akan terbatas hanya untuk satu bayangan (El-Rabbany, 2002).

2.3.1. Pengamatan dengan GPS

Pengamatan yang digunakan dalam penentuan posisi menggunakan GPS antara lain menggunakan *pseudorange*. *Pseudorange* adalah pengukuran dari jangkauan, atau jarak, antara *receiver* GPS dan satelit GPS. Cara lain untuk mengukur jangkauan ke satelit adalah dengan melalui *carrier phase*/fase pembawa. Jarak ini didapat dengan menjumlah total siklus pembawa penuh ditambah pecahan siklus pada *receiver* dan satelit, dikalikan dengan panjang gelombang pembawa (El-Rabbany, 2002). Persamaan pada data pengamatan GPS melalui jarak semu (*pseudorange*) dan jarak fase (*phase range*) (Abidin, 2006):

$$P_i = \rho + d\rho + d_{trop} + d_{ion_i} + (dt - dT) + MP_i + \vartheta P_i \quad (2.1)$$

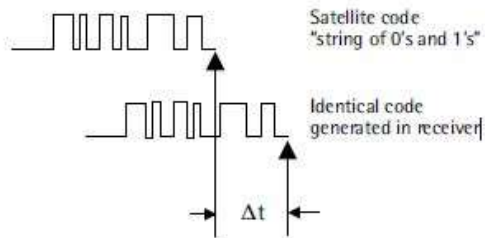
$$L_i = \rho + d\rho + d_{trop} - d_{ion_i} + (dt - dT) + MC_i - \lambda_i \cdot N_i + \vartheta PC_i \quad (2.2)$$

Dimana:

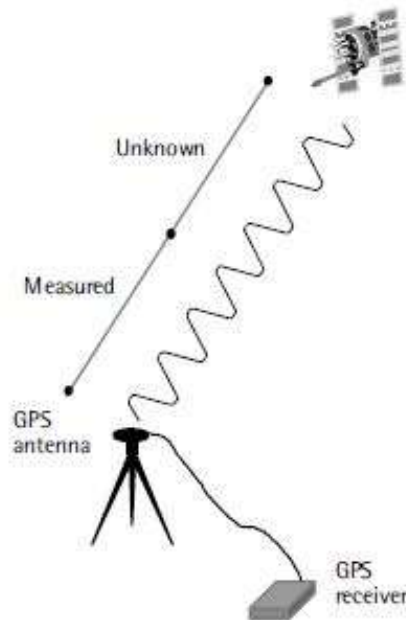
P_i : *pseudorange* pada frekuensi f_i (m), ($i=1,2$)

L_i : jarak fase pada frekuensi f_i (m), ($i=1,2$)

ρ	: jarak geometris antara pengamat dengan satelit
c	: cepat rambat gelombang
λ	: panjang gelombang
$d\rho$: kesalahan jarak yang diakibatkan kesalahan orbit
$dtrop$: bias yang disebabkan oleh refraksi troposfer (m)
$dion$: bias yang disebabkan oleh refraksi ionosfer (m)
dt, dT	: kesalahan pada jam <i>receiver</i> dan jam satelit (m)
$M P_i, M C_i$: efek <i>multipath</i> pada hasil pengamatan P_i dan L_i (m)
$N1, N2$: fase ambiguitas dari sinyal L1 dan L2 (dalam jumlah gelombang)
$\vartheta P_i, \vartheta C_i$: gangguan (<i>noise</i>) dalam hasil pengamatan P_i dan L_i (m)



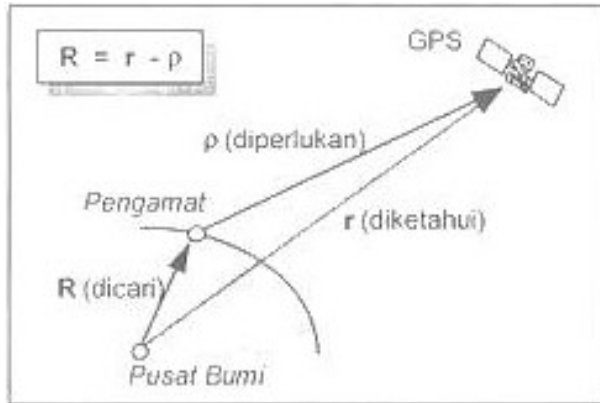
Gambar 2.7 Ilustrasi Pengukuran Pseudorange
(Sumber: El-Rabbany, 2002)



Gambar 2.8 Ilustrasi Pengukuran *Carrier Phase*
(Sumber: El-Rabbany, 2002)

2.3.2. Penentuan Posisi dengan GPS

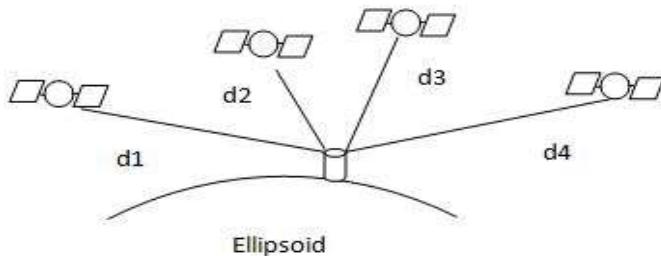
Penentuan posisi dengan GPS adalah reseksi (pengikatan ke belakang dengan jarak, yaitu pengukuran jarak secara simultan ke beberapa satelit GPS yang koordinatnya telah diketahui). Secara vektor, prinsip dasar penentuan posisi dengan GPS diperlihatkan oleh Gambar 2.9 dibawah ini. Parameter yang akan ditentukan adalah vektor posisi geosentrik pengamat (\mathbf{R}). Karena vektor posisi geosentrik satelit GPS (\mathbf{r}) telah diketahui, maka yang perlu ditentukan adalah vector posisi toposentris satelit terhadap pengamat (ρ).



Gambar 2.9 Prinsip Dasar Penentuan Posisi dengan GPS
(Sumber: Abidin, 2006)

Pada pengamatan dengan GPS, yang bisa diukur hanyalah jarak antara pengamat dengan satelit dan bukan vektornya. Oleh sebab itu, rumus yang tercantum pada Gambar 2.9 tidak dapat diterapkan. Untuk mengatasi hal ini, penentuan posisi pengamat dilakukan dengan melakukan pengamatan terhadap beberapa satelit sekaligus secara simultan, dan tidak hanya terdapat satu satelit, seperti yang ditunjukkan pada gambar tersebut.

Posisi yang diberikan oleh GPS adalah posisi tiga dimensi (X,Y,Z) yang dinyatakan dalam datum WGS (*World Geodetic System*) 1984. Dengan GPS, titik yang akan ditentukan posisinya dapat diam (*static positioning*) ataupun bergerak (*kinematic positioning*). Posisi titik dapat ditentukan dengan menggunakan satu receiver GPS terhadap pusat bumi dengan menggunakan metode *absolute (point) positioning*, ataupun titik yang telah diketahui koordinatnya (*station reference*) dengan menggunakan metode *differential (relative) positioning* yang menggunakan minimal dua *receiver* GPS.



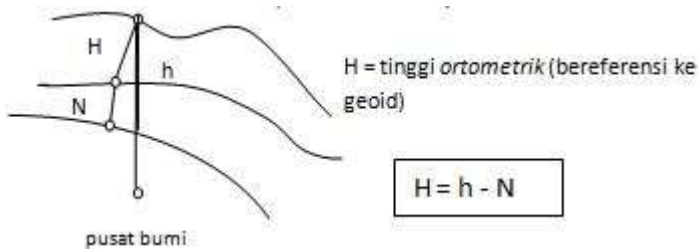
Gambar 2.10 Penentuan Posisi dengan GPS
(Sumber: Baskara, 2013)

Secara garis besar penentuan posisi dengan GPS ini dibagi menjadi dua metode yaitu metode *absolute* dan *relative*. Metode *absolute* atau juga dikenal dengan *point positioning*, merupakan metode untuk menentukan posisi hanya berdasarkan pada satu pesawat penerima (*receiver*) saja dan tipe *receiver* yang digunakan untuk keperluan ini adalah tipe navigasi. Ketelitian posisi yang diperoleh sangat tergantung pada tingkat ketelitian data serta geometri satelit. Metode ini tidak digunakan untuk penentuan posisi yang teliti. Aplikasi utama metode ini adalah untuk keperluan navigasi atau aplikasi-aplikasi lain yang memerlukan informasi posisi yang tidak perlu terlalu teliti tetapi tersedia secara instan (*real time*), seperti untuk keperluan *reconnaissance* dan *ground truthing*.

Metode *relative* atau sering disebut *differential positioning*, merupakan metode untuk menentukan posisi dengan menggunakan lebih dari sebuah *receiver*. Satu GPS dipasang pada lokasi tertentu di muka bumi dan secara terus menerus menerima sinyal satelit dalam jangka waktu tertentu dijadikan sebagai referensi bagi yang lainnya. Metode ini menghasilkan posisi berketelitian tinggi (umumnya kurang dari 1 mm) dan diaplikasikan untuk keperluan survei geodesi ataupun pemetaan yang memerlukan ketelitian tinggi.

2.3.3. Penentuan Tinggi dengan GPS

Ketinggian titik yang diberikan oleh GPS adalah ketinggian titik diatas permukaan *ellipsoid*, yaitu *ellipsoid* WGS 84 yang digunakan sebagai representasi matematis dari bentuk fisik Bumi. Tinggi *ellipsoid* (h) tersebut tidak sama dengan tinggi orthometrik (H) yang umum digunakan untuk keperluan praktis sehari-hari yang biasanya diperoleh dari pengukuran sipat datar (*levelling*). Tinggi orthometrik suatu titik adalah tinggi tersebut diatas *geoid* diukur sepanjang garis gaya berat yang melalui titik tersebut, sedangkan tinggi *ellipsoid* suatu titik adalah tinggi titik tersebut di atas *ellipsoid* dihitung sepanjang garis normal *ellipsoid* yang melalui titik tersebut (Abidin, 2006).



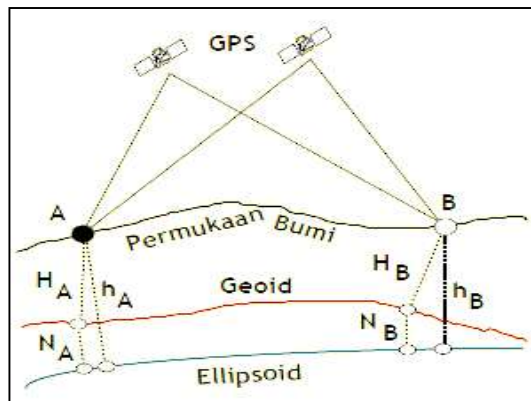
Gambar 2.11 Tinggi *Ellipsoid* dan Tinggi *Orthometrik*
(Sumber: Abidin, 2006)

Untuk mendapatkan hasil yang relatif teliti, transformasi tinggi GPS ke tinggi orthometrik umumnya dilakukan secara diferensial, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.11. Karena dh dapat ditentukan lebih teliti dibandingkan h , dan dN dapat ditentukan lebih teliti dibandingkan N , maka dapat diharapkan bahwa dH yang diperoleh pun akan lebih teliti.

Karena tingkat fleksibilitas operasionalnya yang tinggi serta tingkat ketelitiannya yang relative cukup tinggi, dapat diperkirakan bahwa penentuan tinggi dengan GPS akan punya peran yang cukup besar di masa mendatang.

Beberapa contoh aplikasi yang dapat dipertimbangkan adalah:

- Penentuan beda tinggi antar titik di kawasan yang sulit dilayani dengan pengukuran sipat datar, seperti kawasan pegunungan, rawa-rawa, dan daerah-daerah terpencil,
- Pemantauan perubahan beda tinggi antar titik (berguna untuk mempelajari deformasi struktur, pergerakan lempeng, survei rekayasa, dll.)
- Penentuan tinggi orthometrik titik (seandainya geoid yang diteliti diketahui),
- Penentuan geoid (seandainya tinggi orthometrik diketahui), dan
- Transfer datum tinggi antar pulau.



Gambar 2.12 Penentuan Tinggi secara Diferensial
(Sumber: Abidin, 2006)

Untuk mendapatkan hasil yang relatif teliti penentuan tinggi harus dilakukan secara differensial untuk mengeliminir kesalahan. Pada Gambar 2.12 adanya differensial tinggi N (dN) dan H (dh) dapat meningkatkan ketelitian yang ada. Karena ketelitian komponen tinggi

yang ditentukan dengan GPS umumnya 2-3 lebih rendah dibandingkan komponen horizontalnya. Kadangkala bahkan 4-5 kali lebih rendah. (Abidin et al., 2005).

2.3.4. Kesalahan dan Bias GPS

Pengukuran *pseudorange* dan *carrier-phase* dipengaruhi oleh beberapa jenis kesalahan yang acak dan bias (sistematis kesalahan). Kesalahan ini dapat diklasifikasikan sebagaimana keduanya berasal di satelit, yang berasal pada penerima, dan yang disebabkan oleh propagasi sinyal (pembiasan atmosfer). Selain efek dari kesalahan ini, akurasi posisi GPS dipengaruhi oleh lokasi geometris dari satelit GPS seperti yang terlihat oleh *receiver*.

1. Kesalahan *Ephemeris* GPS

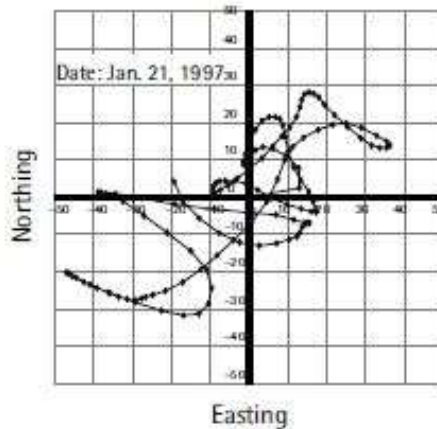
Pemodelan gaya yang bekerja pada satelit GPS secara umum tidak akan sempurna, yang menyebabkan beberapa kesalahan dalam perkiraan posisi satelit, dikenal sebagai kesalahan *ephemeris*. Secara jumlah, kesalahan *ephemeris* biasanya diantara 2 m sampai 5 m, dan dapat mencapai hingga 50 m di bawah *selective availability*. Menurut hal tersebut, kesalahan jarak yang diakibatkan efek gabungan dari *ephemeris* dan kesalahan jam satelit adalah dari 2,3 m. Namun dalam pengukuran posisi yang relatif, kesalahan jarak *baseline* dapat mencapai 2,5 mm.

Beberapa aplikasi, seperti studi tentang dinamika kerak bumi, memerlukan data *ephemeris* lebih tepat daripada data *ephemeris* siaran. Untuk mendukung aplikasi ini, beberapa lembaga telah mengembangkan layanan orbital akurat *postmission*. Data

ephemeris akurat ini didasarkan pada data GPS yang dikumpulkan di jaringan GPS global yang dikoordinasikan oleh IGS. Saat ini, data *ephemeris* akurat tersedia untuk pengguna dengan beberapa jeda, yang bervariasi dari 12 jam untuk orbit sangat cepat IGS hingga sekitar 12 hari untuk orbit akurat IGS yang paling akurat. Akurasi untuk dua orbit akurat adalah dalam beberapa desimeter ke satu desimeter.

2. *Selective Availability*

GPS pada awalnya didesain untuk tujuan militer Amerika Serikat (*military P-code receiver*), dan juga disediakan untuk sipil (*civilian C/A code receiver*) dengan ketelitian yang lebih rendah. Namun, akurasi yang diperoleh oleh kedua *receiver* tersebut sama. Untuk menjamin keamanan nasional, Departemen Keamanan Amerika Serikat mengimplementasikan *selective availability* (SA) di satelit GPS Blok II untuk menghilangkan tingkat akurasi ketelitian pada pengguna sipil. Dengan SA yang hidup, jumlah kesalahan horizontal dan vertikal mencapai 100 m dan 156 m. SA diperkenalkan dan diaktifkan pada 25 Maret 1990. Gambar 2.12 diperlihatkan bagaimana pengaruh hidupnya SA terhadap akurasi pengukuran.

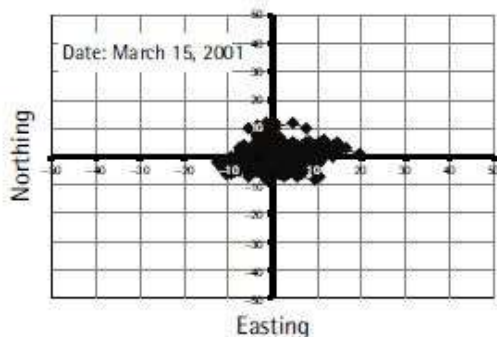


Gambar 2.13 *Selective Availability*
(Sumber: El-Rabbany, 2002)

Melalui kajian mendalam, pemerintah Amerika Serikat menghentikan SA pada 1 Mei 2000, menghasilkan akurasi GPS yang lebih baik. Dengan SA yang mati, jumlah akurasi horizontal dan vertikal GPS mencapai 22 m dan 33 m. Dengan penghapusan kebijakan SA, pasar GPS tumbuh semakin cepat.

3. Kesalahan Jam Satelit dan *Receiver*
Jam satelit GPS (Blok II dan II A) menggunakan bahan atomik (cesium dan rubidium), untuk generasi terbaru (IIR) menggunakan rubidium saja. Meskipun sangat akurat, tetap saja tidak sempurna. Stabilitas jam satelit GPS berada di 1 hingga 2 bagian di 10^{13} selama satu periode hari. Hal ini berarti, kesalahan jam satelit berada pada 8,64 hingga 17,28 nano detik per hari, dan menyebabkan kesalahan jarak 2,59 m

hingga 5,18 m. Kesalahan tersebut dapat dikurangi dengan memasukkan koreksi jam satelit dan mendiferensiasi *receiver* yang digunakan untuk mengukur. Gambar 2.14 menggambarkan bagaimana kesalahan jam satelit berpengaruh pada ketelitian pengukuran.



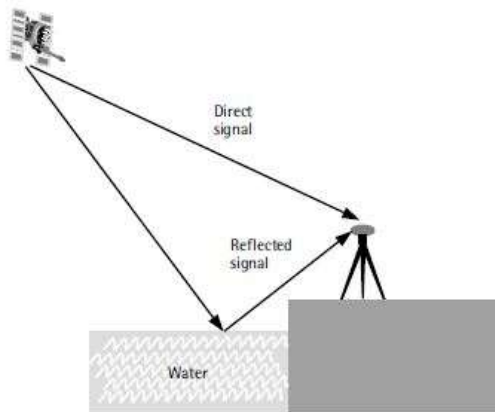
Gambar 2.14 Kesalahan Jam Satelit
(Sumber: El-Rabbany, 2002)

Berbeda dengan satelit GPS, *receiver* GPS menggunakan jam kristal yang memiliki akurasi lebih rendah dari jam satelit. Dari hal itu, kesalahan jam jauh lebih besar daripada kesalahan jam pada satelit GPS. Kesalahan tersebut dapat dikurangi dengan mendiferensiasi antara satelit atau dianggap sebagai parameter yang tidak diketahui (*unknown parameter*).

4. Kesalahan *Multipath*

Multipath adalah sumber kesalahan besar baik dari pengukuran *pseudorange* dan *carrier-phase*. Kesalahan *multipath* terjadi ketika sinyal GPS datang menuju antena

receiver melalui jalur yang berbeda. Jalur itu dapat berupa garis lurus sinyal yang terlihat dan sinyal yang terpantul dari obyek disekitar antena *receiver*. Gambar 2.15 menjelaskan bagaimana *multipath* dapat terjadi. Beberapa antena *receiver* masa kini dapat mengurangi *multipath* pada sinyal GPS.



Gambar 2.15 *Multipath*
(Sumber: El-Rabbany, 2002)

Salah satu cara untuk mengurangi kesalahan *multipath* adalah dengan penentuan lokasi pengukuran yang minim obstruksi. Obstruksi adalah obyek/benda yang dapat menghalangi sinyal untuk sampai ke antena *receiver*, dengan sudut inklinasi dari *receiver* GPS. Adapun cara lain adalah dengan menggunakan antena *chock ring*.

5. Variasi Pusat Fase Antena
Antena *receiver* GPS menerima sinyal satelit yang datang dan mengubah energinya

menjadi tegangan elektrik, yang dapat dibaca oleh *receiver* GPS. Poin ketika sinyal GPS diterima disebut pusat fase antena. Pusat fase antena berbeda dengan fisik (geometris) antena *receiver* GPS. Hal itu bervariasi bergantung pada ketinggian dan azimuth satelit GPS begitu pula dengan intensitas sinyal yang diukur. Sebagai hasilnya, kesalahan jarak tambahan dapat diprediksi.

Karena jumlah yang kecil, kesalahan ini diabaikan di hampir semua aplikasi GPS praktis. Namun, terdapat cara untuk mengurangi kesalahan ini. Pemilihan tipe antena dapat mengurangi kesalahan. Penggunaan frekuensi *single* dapat mengurangi kesalahan ini.

6. Kebisingan Pengukuran *Receiver*

Kebisingan pengukuran *receiver* dihasilkan dari pembatasan elektronik pada *receiver*. Sebuah GPS yang baik seharusnya memiliki level kebisingan yang rendah. Bagaimanapun, untuk sistem GPS akurat yang mahal, akan lebih penting bagi pengguna untuk melakukan evaluasi sistem. Dua tes dapat dilakukan untuk mengevaluasi *receiver* GPS (sistem): tes *zero baseline* dan *short baseline*.

Sebuah tes *zero baseline* digunakan untuk mengevaluasi performa *receiver*. Tes ini melibatkan penggunaan satu antena/penguat diikuti oleh pemecah sinyal yang memberi *receiver* GPS dua atau lebih. Beberapa masalah *receiver* seperti pembiasan *interchannel* dan dapat terdeteksi dengan tes ini. Sebagaimana satu antena yang

digunakan, solusi *baseline* haruslah nol, dengan kata lain, adapun nilai selain nol dipasangkan ke kebisingan *receiver*. Walaupun tes ini berguna dalam penginformasian performa *receiver*, namun tidak terdapat informasi kebisingan antena/penguat.

Untuk mengevaluasi performa lapangan sebenarnya pada sistem GPS, perlu diikutkannya komponen kebisingan antena/penguat. Tes ini dapat dilakukan dengan *short baseline* berkisar beberapa meter saja. Residu *double-difference* pada satu hari dapat mengandung kebisingan sistem dan efek *multipath*. Kesalahan lainnya dapat dihilangkan secara berkecukupan. Pendiferensiasi-an residual *double-difference* selama dua hari berturut-turut dapat menghilangkan *multipath* dan hanya meninggalkan kebisingan sistem.

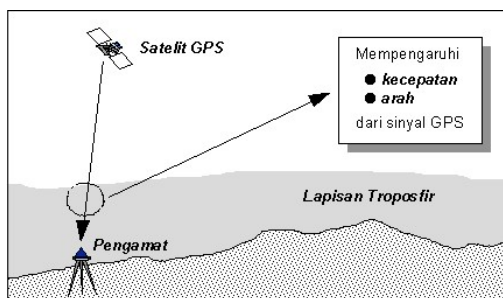
7. Bias Ionosferik

Ionosfer merupakan bagian dari lapisan atas atmosfer dimana terdapat sejumlah elektron dan ion bebas yang mempengaruhi perambatan gelombang radio. Sinyal GPS memancarkan sinyalnya ke *receiver* melewati ionosfer, akibatnya ion-ion tersebut akan mempengaruhi propagasi sinyal satelit terutama pada kecepatan sinyal.

Untuk mereduksi kesalahan bias ionosfer, hal-hal yang dilakukan adalah:

- Menggunakan data GPS dari dua frekuensi, L1 dan L2
- Melakukan pengurangan (*differencing*) data pengamatan

- Memperpendek panjang *baseline*
 - Melakukan pengamatan pada pagi atau malam hari
 - Menggunakan model ionosfer (model *Bent* atau *Klobuchar*)
 - Menggunakan parameter koreksi yang dikirimkan oleh sistem WADGPS (*Wide Area Differential GPS*)
8. Bias Troposferik
- Sinyal dari satelit GPS untuk sampai ke antenna harus melalui lapisan troposfer, yaitu lapisan atmosfer netral yang berbatasan dengan permukaan bumi dimana temperatur menurun dengan membesarkan ketinggian. Lapisan troposfer mempunyai ketebalan sekitar 9 sampai 16 km, tergantung dengan tempat dan waktu. Ketika melalui troposfer, sinyal GPS akan mengalami refraksi, yang menyebabkan perubahan pada kecepatan dan arah sinyal GPS. Efek utama dari troposfer berpengaruh pada kecepatan, atau dengan kata lain terhadap hasil ukuran jarak.



Gambar 2.16 Efek Troposfer terhadap Sinyal GPS

(Sumber: Abidin, 2006)

Gambar 2.16 menjelaskan adanya lapisan troposfer dimana mempengaruhi kecepatan dan arah dari sinyal GPS yang ditangkap *receiver*. Akibat dari hal tersebut, adanya data yang mengganggu dan mengurangi ketelitian.

9. *Cycle Slip*
Cycle slip merupakan ketidak-kontinyuan dalam jumlah gelombang penuh dari fase gelombang pembawa yang diamati, karena sinyal ke *receiver* terputus pada saat pengamatan sinyal.



Gambar 2.17 *Cycle Slip*
 (Sumber: Abidin, 2006)

Gambar 2.17 menjelaskan terjadinya *cycle slip*. Ada beberapa hal yang bisa membuat *Cycle slip* pada saat pengamatan, antara lain:

- Mematikan dan menghidupkan *receiver* dengan sengaja.
- Terhalangnya sinyal GPS akibat terhalang pohon atau bangunan.
- Pengaruh aktivitas ionosfer dan *multipath*

- Adanya kerusakan di dalam *receiver* sehingga tidak dapat menerima gelombang secara penuh

2.4. Pemantauan Penurunan Tanah dengan Satelit GPS

Sejak pengembangan pertamanya, GPS telah digunakan secara sukses untuk mengamati stabilitas struktur, sebuah aplikasi yang membutuhkan akurasi ketelitian tinggi. Beberapa contoh didalamnya termasuk pemantauan deformasi bendungan, jembatan dan menara televisi. Pemantauan *subsidence*/amblesan tanah lahan minyak dan area penambangan adalah contoh lain di mana GPS telah berhasil digunakan. Dalam beberapa kasus, GPS dapat dilengkapi dengan sistem lain seperti INS atau *Total Station* untuk bekerja lebih efisien. Pemantauan penurunan tanah dilakukan dengan mengambil pengukuran GPS atas area yang sama pada interval waktu yang berbeda.

Penurunan tanah pada struktur yang cenderung lambat seperti bendungan memerlukan tingkat akurasi mencapai milimeter untuk memantau penurunannya. Dengan Satelit GPS dan *Receiver* GPS masa kini, serta dengan model perataan matematis, penurunan dapat terlihat dengan baik sehingga dapat dibuat analisa penurunan tanah yang informatif (El-Rabbany, 2002).

Pada metode ini, beberapa titik yang ditempatkan pada beberapa lokasi yang dipilih, secara periodik ditentukan koordinatnya secara teliti dengan menggunakan metode survai GPS (Abidin, 2006). Dengan mempelajari pola dan kecepatan perubahan koordinat dari titik-titik tersebut dari survai yang satu ke survai berikutnya, maka karakteristik penurunan tanah akan dapat dihitung dan dipelajari lebih lanjut.

Perlu dicatat di sini bahwa dalam studi penurunan tanah dengan metode survey GPS, ada beberapa keunggulan dan keuntungan yang ditawarkan, yaitu seperti yang dijelaskan pada butir-butir berikut (Abidin, 2006):

1. GPS memberikan nilai vektor deformasi dalam tiga dimensi (dua komponen horisontal dan satu komponen vertikal). Untuk penurunan tanah, yang perlu dipantau adalah komponen vertikalnya.
2. GPS memberikan nilai vektor deformasi (dan penurunan muka tanah) dalam suatu sistem koordinat referensi yang tunggal. Dengan itu maka GPS dapat digunakan untuk memantau deformasi (dan penurunan tanah) suatu wilayah secara regional secara efektif dan efisien.
3. GPS dapat memberikan nilai vektor deformasi (dan penurunan tanah) dengan tingkat presisi sampai beberapa mm, dengan konsistensi yang tinggi baik secara spasial maupun temporal. Dengan presisi yang tinggi dan konsisten ini maka diharapkan besarnya deformasi (dan penurunan tanah) yang kecil sekalipun akan dapat terdeteksi dengan baik.
4. GPS dapat dimanfaatkan secara kontinyu tanpa tergantung waktu (siang maupun malam), dalam segala kondisi cuaca. Dengan karakteristik semacam ini maka pelaksanaan survai GPS untuk studi deformasi (dan penurunan tanah) dapat dilaksanakan secara efektif dan fleksibel.

Prinsip pemantauan penurunan tanah dengan GPS adalah menempatkan titik pantau di beberapa lokasi yang dipilih, dilakukan secara kontinu sehingga dapat ditentukan koordinat titik pantau tersebut secara teliti. Dari pengamatan GPS, data yang akan diperoleh adalah berupa koordinat titik pantau dan waktu. Dengan melakukan pengamatan secara periodik, perubahan posisi suatu titik pantau dapat diidentifikasi dengan melihat adanya perubahan nilai koordinat titik pantau dari waktu ke waktu.

Untuk mendapatkan nilai penurunan tanah adalah dengan menentukan beda tinggi masing-masing pengukuran. Persamaan yang digunakan adalah:

$$\Delta H = H_{n+1} - H_n \quad (2.3)$$

Dimana :

ΔH : beda tinggi antar kala

H_{n+1} : tinggi titik pada kala ke $n+1$

H_n : tinggi titik pada kala ke n

2.5. GAMIT/GLOBK

GAMIT/GLOBK adalah alat analisa GPS komprehensif yang dikembangkan di Massachusetts Institute of Technology (MIT), Harvard-Smithsonian Center for Astrophysics (CfA), Scripps Institution of Oceanography (SIO), dan Australian National University untuk perhitungan koordinat stasiun dan kecepatan, representasi stokastik atau fungsional dari deformasi pasca seismik, jeda atmosferik, orbital satelit, dan parameter orientasi Bumi. Walaupun sekarang perangkat lunak ini dikelola oleh tiga orang dari MIT, banyak orang telah memberikan sumbangsih dalam perangkat lunak ini.

Untuk mengontrol pengolahan perangkat lunak ini, GAMIT menggunakan skrip *C-shell* (disimpan di `/com` dan biasanya dinamai untuk memulai dengan `sh_`) dimana memicu *FORTTRAN* atau program *C* yang terkompilasi di `/libraries`, `/gamit`, dan direktori `/kf`. Perangkat lunak ini didesain untuk jalan dibawah sistem operasi UNIX apapun yang mendukung X-Windows; pengembang juga mengimplementasi versi sejauh ini untuk LINUX, Mac OS-X, HP-UX, Solaris, IBM/RISC, dan DEC. Logika parameter mengizinkan maksimum hingga 99 titik lokasi namun distribusi standar adalah terbatas untuk 60 titik lokasi sejak efisiensi yang lebih besar didapatkan untuk jaringan besar oleh pengolahan paralel dengan subnet terkoneksi. Pengolahan IGS di MIT termasuk 300 titik lokasi, dan pengolahan di New Mexico Tech untuk North American Plate Boundary Observatory mencapai 1000 titik lokasi (Herring, 2010a).

GAMIT menggabungkan algoritma kuadrat terkecil gaya berat untuk mengestimasi posisi relatif dari sekumpulan stasiun, orbital dan parameter rotasi Bumi, jeda zenith, dan ambiguitas fase dengan mencocokkan ke pengamatan fase diferensiasi dua kali. Sejak model fungsional (matematis) berkaitan pengamatan dan parameter adalah non-linear, GAMIT membuat dua solusi, pertama yakni mendapatkan koordinasi dalam desimeter, dan yang kedua yakni mendapatkan estimasi akhir (Herring, 2010b). Gamit membutuhkan delapan macam input data, antara lain:

1. *Raw data* dari data pengamatan GPS
2. *L-File* berisi koordinat dari semua stasiun pengamatan atau titik ikat yang digunakan. Koordinat yang digunakan menggunakan koordinat geosentrik.
3. File *station.info*, berisi informasi stasiun-stasiun
4. File *session.info*, berisi sesi data yang akan diolah. Informasi yang tercantum antara lain (tahun, *doy*, sesipengamatan, *sampling rate*, banyak epok, dan nomor-nomor satelit). File juga dapat di buat dengan perintah *makeexp* dari GAMIT.
5. File Navigasi, berupa RINEX (*Receiver Independent Exchange Format*), *Navigation Messages* maupun *ephemeris* yang disediakan IGS.
6. File *settbl*, memuat *control table* mengenai karakteristik proses yang dieksekusi oleh GAMIT.
7. File *sittbl*, digunakan untuk memberikan konstrain pada setiap stasiun pengamatan yang digunakan.
8. File GPS *precise ephemeris* yang didapat dari IGS dalam format *sp3*.

Hasil akhir dari proses pengolahan data pengamatan GPS dengan perangkat lunak GAMIT adalah sebagai berikut :

1. *q-file*, memuat semua informasi hasil pengolahan data pengamatan GPS dengan GAMIT yang disajikan dalam dua versi *Biasses-free Solution* and *Biass-fixed Solution*.
2. *h-file*, berisi pengolahan dengan *Lossely Constraint Solutions* yang berupa parameter-parameter yang

digunakan berupa matriks varian kovarian pada pengolahan lanjutan dengan GLOBK (*Global Kalman Filter VLBI and GPS Analysis Program*)

3. *Autcln.summary-file*, yang terdiri atas file *autcln.prefit.sum* dan *autcln.post.sum*. kedua file tersebut berisi data statistic hasil editing dengan *autcln*.

GLOBK (*Global Kalman Filter VLBI and GPS Analysis Program*) adalah perangkat lunak pemfilter data dengan metode kalman filter, yang bertujuan untuk menggabungkan solusi dari pengolahan data primer dari geodesi satelit atau pengukuran terestris. Pengolahan diterima sebagai data (quasi observation) yang terkait dengan matriks kovarian untuk koordinat titik, parameter rotasi bumi, parameter orbit, dan posisi titik yang dihasilkan dari analisis observasi.

Ada tiga fungsi yang biasa dijalankan di dalam GLOBK, yaitu (Herring, 2010c):

- a. Mengombinasikan hasil pengolahan harian untuk menghasilkan koordinat stasiun rata-rata dari pengamatan yang dilakukan lebih dari satu hari.
- b. Melakukan estimasi koordinat stasiun dari pengamatan harian yang digunakan untuk menggeneralisasikan data runut waktu (*time series*) dari pengamatan teliti harian atau tahunan.
- c. Mengombinasikan sesi pengamatan individu dengan koordinat stasiun dianggap stokastik, hasilnya adalah koordinat *repeatibilities* untuk mengevaluasi tingkat ketelitian pengukuran harian atau tahunan.

2.6. Uji Hipotesis

Hipotesis adalah dugaan yang sering digunakan sebagai dasar pembuatan keputusan untuk dasar penelitian lebih lanjut. Dalam lingkup lebih spesifik, hipotesis dapat disebut sebagai hipotesis statistik, dimana hipotesis statistik adalah suatu anggapan atau pernyataan, yang, mungkin benar atau tidak, mengenai satu populasi atau lebih (Myers & Walpole, 1995).

Suatu pengujian hipotesis statistik adalah prosedur yang memungkinkan keputusan dapat dibuat, yaitu keputusan untuk menerima atau menolak hipotesis yang sedang diuji. Struktur pengujian hipotesis akan dirumuskan dengan menggunakan istilah hipotesis nol. Hal ini menyatakan setiap hipotesis yang ingin diuji dinyatakan H_0 . Penolakan H_0 akan membawa pada penerimaan suatu hipotesis tandingan, dinyatakan H_1 . Suatu hipotesis nol mengenai parameter populasi akan selalu dinyatakan sedemikian rupa, sehingga parameter tersebut memiliki nilai secara tepat, sedangkan hipotesis tandingan memungkinkan beberapa nilai.

Uji hipotesis memiliki beberapa ragam, salah satunya adalah uji- t . Uji- t adalah jenis pengujian statistik untuk mengetahui apakah terdapat perbedaan dari nilai yang diperkirakan dengan nilai hasil perhitungan statistik. Uji- t pada dasarnya menunjukkan seberapa jauh pengaruh satu variabel bebas secara individual dalam menerangkan variasi variabel terikat. Uji ini dapat dilakukan dengan membandingkan t hitung dengan tabel distribusi t . Pada penelitian ini digunakanlah uji- t , dikarenakan jumlah sampel yang ada (titik pengamatan) kurang dari 30 (7 titik) dan simpangan baku dari data tidak diketahui.

Adapun langkah-langkah dalam penyusunan uji- t tersebut antara lain:

$$\begin{aligned} \text{Hipotesa nol} & : H_0 : \mathbf{DH}_{i,j} = 0 \\ \text{Hipotesa tandingan} & : H_1 : \mathbf{DH}_{i,j} \neq 0 \\ \text{Uji statistik} & : t = \frac{\Delta dh_{ij}}{\partial(\Delta dh_{ij})} \end{aligned} \quad (2.4)$$

H_0 = titik tidak mengalami perubahan

H_1 = titik mengalami perubahan

Δdh_{ij} = Selisih titik pengamatan awal dan akhir

Uji statistik dengan uji- t , hipotesa akan ditolak bila (Ghilani & Wolf, 2006)

$$|t| > t_{df, \alpha/2} \quad (2.5)$$

dimana df merupakan derajat kebebasan, dan α adalah derajat kesalahan.

H_0 diterima, jika $t_{hitung} \leq t_{tabel}$

H_0 ditolak, jika $t_{hitung} > t_{tabel}$

Dari uji hipotesis tersebut dapat disimpulkan apabila nilai t_{hitung} lebih kecil atau daripada t_{tabel} maka hipotesis H_0 diterima yang artinya titik tersebut tidak mengalami perubahan, sedangkan apabila t_{hitung} lebih besar daripada t_{tabel} maka titik tersebut mengalami perubahan baik dalam bentuk inflasi atau deflasi

2.7. Regresi Linier

Analisis regresi adalah suatu proses memperkirakan secara sistematis tentang apa yang paling mungkin terjadi dimasa yang akan datang berdasarkan informasi yang sekarang dimiliki agar memperkecil kesalahan (Riduwan & Sunarto, 2007). Regresi mampu mendeskripsikan fenomena data melalui terbentuknya suatu model hubungan yang bersifat numerik. Model regresi dimanfaatkan untuk melakukan prediksi terhadap variabel terikat.

Dalam penelitian ini digunakanlah regresi linier, dimana analisis regresi linier sederhana adalah hubungan secara linier antara satu variabel independen (X) dengan variabel dependen (Y). Analisis ini untuk mengetahui arah hubungan antara variabel independen dengan variabel dependen apakah positif atau negatif dan untuk memprediksi nilai variabel independen mengalami kenaikan atau penurunan. Berikut ini merupakan rumus regresi linier (Sudjana, 2002) :

$$Y = a + bX \quad (2.6)$$

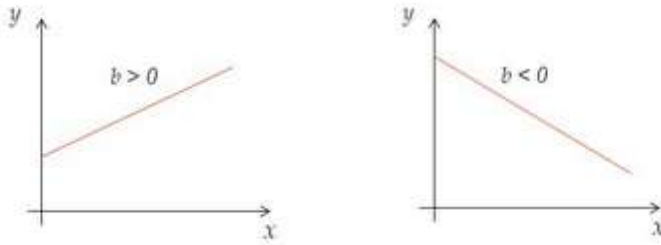
Y = Variabel dependen (nilai yang diprediksikan)

X = Variabel independen

a = Konstanta (nilai Y apabila $X = 0$)

b = Kemiringan garis (perubahan rata-rata pada y untuk setiap unit perubahan pada variable bebas x)

Nilai b dapat positif (+) ataupun negatif (-). Berikut ini adalah grafik dari nilai b :



(a)

(b)

Gambar 2.18 Grafik regresi untuk nilai b positif (a) dan grafik regresi untuk nilai b negatif (b)

Untuk nilai dari konstanta (a) dan koefisien regresi (b) dapat ditentukan melalui rumus berikut:

$$b = \frac{n\Sigma XY - \Sigma X \cdot \Sigma Y}{n\Sigma X^2 - (\Sigma X)^2} \quad (2.7)$$

$$a = \frac{\Sigma Y - b \cdot \Sigma X}{n} \quad (2.8)$$

2.8. Percepatan

Percepatan dapat didefinisikan sebagai perubahan kecepatan suatu objek bergerak dalam selang waktu tertentu. Jika sebuah mobil bergerak dengan kecepatan selalu bertambah dalam selang waktu tertentu, maka mobil tersebut dikatakan mengalami percepatan. Perubahan kecepatan dalam selang waktu tertentu disebut percepatan. Percepatan ini yang disebut dengan percepatan rata-rata yang dapat ditulis sebagai berikut :

$$\bar{a} = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{v_2 - v_1}{t_2 - t_1} \quad (2.9)$$

dengan kecepatan v_2 adalah kecepatan pada saat $t = t_2$ dan v_1 adalah kecepatan pada $t = t_1$.

Bentuk komponen percepatan rata-rata \bar{a} pada bidang dua dimensi adalah sebagai berikut.

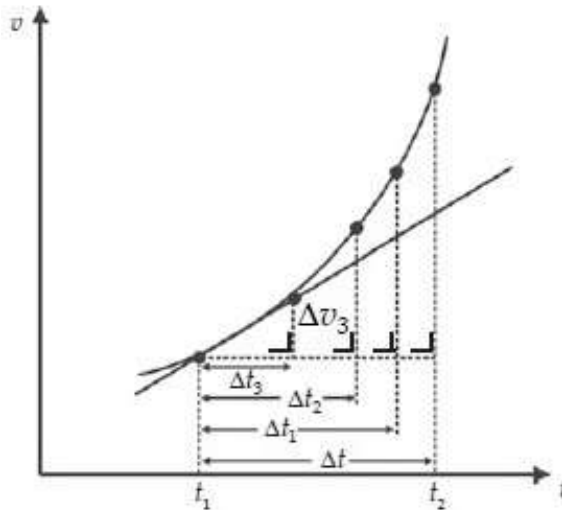
$$\bar{\mathbf{a}} = \bar{a}_x \mathbf{i} + \bar{a}_y \mathbf{j} \quad (2.10)$$

dengan $\bar{a}_x = \frac{v_{x2} - v_{x1}}{t_2 - t_1}$ dan $\bar{a}_y = \frac{v_{y2} - v_{y1}}{t_2 - t_1}$ Dikatakan percepatan rata-rata, karena tidak memedulikan perubahan percepatan pada saat tertentu.

Percepatan suatu benda yang bergerak dalam waktu tertentu disebut dengan percepatan sesaat. Secara matematis dapat yang dinyatakan dalam persamaan berikut.

$$\mathbf{a} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \bar{\mathbf{a}} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta \mathbf{v}}{\Delta t} \quad (2.11)$$

Jika digambar dalam bidang XY , maka kecepatan sesaat merupakan kemiringan garis singgung dari grafik $v - t$ pada saat $t = t_1$.



Gambar 2.19 Tampilan geometris pada saat $t = t_1$ sama dengan kemiringan garis singgung pada $\frac{\Delta v_3}{\Delta t_3}$

2.9. Penelitian Terdahulu

Kurniawan (2011), melakukan penelitian tentang penurunan tanah wilayah kota Surabaya dengan menggunakan GPS yang tersebar di enam hingga delapan titik yang berbeda disekitar kota Surabaya. Tujuan dari penelitian ini untuk mendapatkan besar penurunan muka tanah dan memprediksi perubahan tinggi titik pada tiap kala. Hasil dari pengukuran GPS menunjukkan pergeseran vertikal yang terjadi rata-rata antara -8.6 cm sampai dengan 0.0 cm dalam kurun waktu 3 tahun. Berikut adalah data yang terdapat pada penelitian beliau yang berjudul evaluasi penurunan muka tanah di wilayah kota Surabaya dari data pengamatan *Global Positioning System* dengan GAMIT/GLOBK.

Tabel 2.1 Data Koordinat Pengamatan GPS Tahun 2007
(Sumber : Kurniawan, 2011)

Data Koordinat Pengamatan GPS Tahun 2007				
No	Titik	X	Y	Elevasi(m)
1	RKUT	-815627.019	12449606.75	32.646
2	KOTA	-809034.526	12449812.98	33.66
3	SBRT	-812657.873	12444823.45	43.324
4	KLNK	-804857.681	12447024.65	31.888
5	KJRN	-803947.58	12454773.42	32.037
6	WARU	-817645.489	12445976.43	34.984

Tabel 2.2 Data Koordinat Pengamatan GPS Tahun 2010
(Sumber : Kurniawan, 2011)

Data Koordinat Pengamatan GPS Tahun 2010				
No	Titik	X	Y	Elevasi(m)
1	RKUT	-815627.091	12449606.77	32.56
2	KOTA	-809034.598	12449812.98	33.623
3	SBRT	-812657.905	12444823.5	43.324
4	KLNK	-804857.712	12447024.74	31.853
5	KJRN	-803947.61	12454773.48	32.027
6	WARU	-817645.527	12445976.55	34.963

Tabel 2.3 Data Koordinat Pengamatan GPS Tahun 2009
(Sumber : Kurniawan, 2011)

Data Koordinat Pengamatan GPS Tahun 2009				
No	Titik	Bujur	Lintang	Elevasi (m)
1	Rungkut	112.757	-7.3269	32.6484
2	Sbrt	112.7444	-7.2676	43.34994
3	ITS	112.7906	-7.2794	32.06559
4	Waru	112.7292	-7.345	35.00554
5	Pusat	112.7072	-7.3002	33.68871
6	Kalianak	112.7779	-7.2219	31.88627
7	Kenjeran	112.7099	-7.2301	32.04176
8	Pasarturi	112.7316	-7.2486	32.24788

Tabel 2.4 Data Koordinat Pengamatan GPS Tahun 2011
(Sumber : Kurniawan, 2011)

Data Koordinat Pengamatan GPS Tahun 2011				
No	Titik	Bujur	Lintang	Elevasi (m)
1	Rungkut	112.757	-7.3269	32.57787
2	Sbrt	112.7444	-7.2676	43.3493
3	ITS	112.7906	-7.2794	32.09613
4	Waru	112.7292	-7.345	34.99955
5	Pusat	112.7072	-7.3002	33.64217
6	Kalianak	112.7779	-7.2219	31.89823
7	Kenjeran	112.7099	-7.2301	32.0467
8	Pasarturi	112.7316	-7.2486	32.2611

Lukmana (2016), melakukan penelitian dalam penurunan tanah wilayah kota Surabaya dengan menggunakan DInSAR. Tujuan dari penelitian ini untuk mendapatkan besar penurunan dan kenaikan tanah yang terjadi di kota Surabaya. Dari analisis tersebut, didapatkan nilai displacement kota Surabaya sebesar 25 sampai – 75 mm di tahun 2009-2011. Dengan data penelitian yang berjudul *Analisis Land Subsidence* menggunakan teknik *Differential Interferometric Syntetic Aperture Radar* sebagai berikut

Tabel 2.5 Data Pengamatan Menggunakan DInSAR Tahun 2009-2011

(Sumber : Lukmana, 2016)

Data Pengamatan Menggunakan DInSAR Tahun 2009-2011				
No	Titik	Bujur	Lintang	LOS Displacement (mm)
1	Rungkut	112.757	-7.3269	-51.55
2	Sbrt	112.7444	-7.2676	-50.77
3	ITS	112.7906	-7.2794	25.01
4	Waru	112.7292	-7.345	-15.14
5	Pusat	112.7072	-7.3002	1.61
6	Kalianak	112.7779	-7.2219	24.28
7	Kenjeran	112.7099	-7.2301	4.29
8	Pasarturi	112.7316	-7.2486	14.18

Hariyanto (2014) melakukan penelitian penurunan tanah di kawasan pesisir Surabaya menggunakan GPS yang tersebar pada 17 titik disekitar pesisir kota Surabaya. Tujuan dari penelitian ini untuk Mengevaluasi hasil pengukuran penurunan tanah dari sebaran 17 buah titik tetap (BM) di wilayah pesisir Kota Surabaya serta keterkaitannya dengan faktor tutupan lahan disekitar BM tersebut. Berikut adalah sebaran titik pengamatan

penurunan tanah pada wilayah pesisir kota Surabaya pada penelitian yang dilakukan.



Gambar 2.20 Persebaran Titik Pengamatan Penurunan Tanah

Pada gambar yang merupakan sebaran titik dari penelitian yang dilakukan menghasilkan data-data yang diamati nilai elevasinya. Dari penelitian yang berjudul Evaluasi sebaran hasil pengamatan penurunan tanah terhadap tutupan lahan di wilayah pesisir Kota Surabaya yang dilakukan secara berkala setiap dua tahun terhitung mulai tahun 2010 hingga 2014 dengan rincian tahun 2010, 2012, dan 2014 didapatkan data sebagai berikut.

Tabel 2.6 Sebaran Pengamatan Penurunan Tanah di Wilayah
Pesisir Kota Surabaya
(Sumber : Hariyanto, 2014)

Sebaran hasil pengamatan penurunan tanah di wilayah pesisir Kota Surabaya						
Titik	Northing (m)	Easting (m)	Elevasi (m)			Penurunan (m)
			2010	2012	2014	
BM01	9,197,045,039	692,832,602	33.48	33.48	33.414	0.066
BM02	9201853,66	678,770,015	31.963	32.021	31.88	0.083
BM03	9,201,788,766	682,395,429	32.586	32.644	32.564	0.022
BM04	9,198,781,296	680,591,268	34.376	34.287	34.164	0.212
BM05	9,200,668,256	684,495,736	31.705	31.651	31.513	0.192
BM06	9,196,248,127	683,959,412	45.761	45.682	45.645	0.116
BM07	9200948,74	687,190,334	32.022	32.046	31.947	0.075
BM08	9,196,721,701	686,887,077	35.056	35.002	35.017	0.039
BM10	9198638,4	691,417,257	32.553	32.595	32.548	0.005
BM11	9,202,555,241	690,315,018	32.575	32.534	32.532	0.043
BM12	9,197,425,714	689,147,138	32.066	32.059	32.051	0.015
BM14	9,200,384,648	696,016,055	33.011	32.961	33.011	0
BM15	9,199,867,112	698,172,673	32.374	32.372	32.413	-0.039
BM16	9,196,266,501	695,547,143	32.725	32.723	32.751	-0.026
BM18	9,193,784,182	697,189,243	32.282	32.248	32.307	-0.025
BM19	9,191,623,954	701,248,993	31.914	31.887	31.892	0.022
BM20	9,189,277,436	701,084,955	31.105	31.105	30.921	0.184

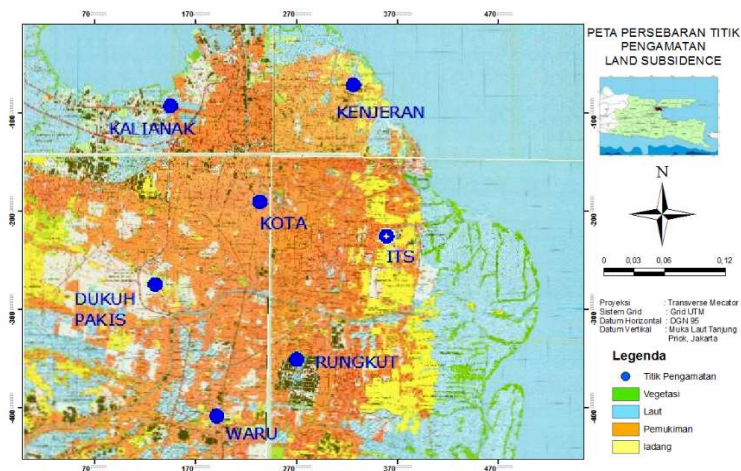
“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian tugas akhir ini dilakukan di wilayah kota Surabaya, Jawa Timur. Pengamatan dilakukan sebanyak empat kala, yakni bulan Juli 2011, Oktober 2016, Januari dan April 2017. Adapun titik pengamatan penelitian telah ada sebelum penelitian ini direncanakan.



Gambar 3.1 Detil Titik Pengamatan Penelitian

Pemilihan titik tersebut berdasarkan pada representasi wilayah kota Surabaya sendiri seperti pada titik di Kota tepatnya di Bambu Runcing dipilih karena banyaknya gedung-gedung besar, besarnya beban bangunan yang daerah tersebut merupakan endapan alluvial maka konsolidasi tanah dapat menyebabkan penurunan tanah, untuk daerah Rungkut sendiri merupakan representasi dari kawasan Industri di Surabaya tepatnya dikawasan Sier, kemudian untuk Waru yang titiknya berada di jalan A.Yani dipilih karena besarnya beban jalan yang setiap

harinya dilewati oleh kendaraan padat, di samping itu pada daerah ini sudah banyak gedung-gedung besar dan padat bangunan. Kenjeran di pilih karena dirasa perkembangan disana tidak secepat di titik-titik lain hingga titik ini dapat di buat perbandingan dengan titik-titik yang pertumbuhan daerahnya lebih cepat. Titik di Kenjeran ini berada di Polsek Kenjeran yang juga berdekatan dengan kampung nelayan. Titik di Kalianak tepatnya berada di Koramil Krembangan Kalianak ini merupakan daerah yang banyak terdiri dari pergudangan juga besarnya beban jalan dari kendaraan besar pengangkut barang yang lewat setiap harinya. Untuk titik di Dukuh Pakis sendiri merupakan satu-satunya titik yang tidak berdiri di tanah Alluvial sehingga dapat menjadi perbandingan dengan titik-titik yang lain. Terakhir untuk ITS yang berada di bundaran ITS digunakan sebagai representasi daerah kampus dan pemukiman. pada dasarnya dalam penelitian ini selain dapat mengetahui nilai penurunan tanah juga akan ditentukan nilai kecepatan dan percepatan penurunan tanahnya sehingga data yang dibutuhkan tidak hanya data pengamatan sekarang namun juga data terdahulu. Selain beberapa faktor diatas, titik-titik ini juga digunakan karena terdapat data pengamatan sebelumnya.

3.2. Data dan Peralatan

3.2.1. Data

Data yang digunakan dalam penelitian tugas akhir ini antara lain:

1. Data hasil pengamatan GPS yang didapat dari pengamatan di titik lokasi BM
2. Data Stasiun IGS sebagai titik ikat
3. Data *precise ephemeris* (.sp3)
4. Data navigasi satelit (.N)

3.2.2. Peralatan

Peralatan yang digunakan dalam penelitian tugas akhir ini antara lain:

1. Perangkat Keras

- *Desktop* PC Core i3 3.5 GHz, *Memory* 8.0 GB, *VGA* Nvidia GT 730, *Hard Drive* 1.5 TB
- *Notebook* HP Core i7 1.8 GHz, *Memory* 8.0 GB, *Hard Drive* 1 TB
- Printer
- 3 set *Receiver* GPS Geodetic – Topcon HiPer Pro *Dual Frequency*

Tabel 3.1 Spesifikasi GPS Topcon HiperPro

Spesifikasi	
Deskripsi	40 channel terintegrasi dengan GPS + <i>receiver</i> /antena dengan antarmuka MINTER
Spesifikasi Pelacakan	
Saluran Pelacakan, standar	40 L1 GPS (20 GPS L1 + L2 pada hari Cinderella)
Saluran Pelacakan, opsional	20 GPS L1 + L2 (GD), GPS L1, GLONASS (GG), 20 GPS L1 + L2 + GLONASS (GGD)
Sinyal yang dilacak	L1/L2/ C/A and P <i>Code</i> & <i>Carrier</i> and GLONASS
Spesifikasi Hasil	
Statik, Rapid Statik	H : 3 mm + 0.5 ppm V : 5 mm + 0.5 ppm
RTK	H : 10 mm + 1 ppm V : 15 mm + 1 ppm
Spesifikasi Daya	
Baterai	<i>Internal Lithium-Ion batteries</i> , bertahan sampai 14+ jam operasi (10 hrs TX)

Daya eksternal	6 volt untuk DC
Daya yang digunakan	Kurang dari 4.2 watt
Spesifikasi Antena GPS	
Antena GPS/GLONASS	Terintegrasi
Spesifikasi Antena GPS	
Antena radio	<i>Center-mount UHF Antenna</i>
Spesifikasi Radio	
Tipe radio	Internal Tx/Rx UHF (rentang frekuensi yang dipilih)
Daya yang dikeluarkan	1.0W/0.25W (dapat dipilih)
Komunikasi Nirkabel	
Komunikasi	Bluetooth™ versi 1.1 comp
I/O	
Port komunikasi	2x serial (RS232)
Selain sinyal I/O	1 pps, <i>Event maker</i>
Status indikator	4x3-LED berwarna
Kontrol dan unit display	<i>External Field Controller</i>
Memori& Rekaman	
Memori internal	Sampai dengan 128 MB
Laju pembaharuan data	Sampai dengan 20 kali per detik (20 Hz)
Data Input/Output	
<i>Real time data output</i>	RTCM SC104 ver 2.1, 2.2, 2.3, 3.0, CMR, CMR+
<i>ASCII output</i>	NMEA 0183 version 3.0
<i>Output lainnya</i>	Format TPS
<i>Laju output</i>	Sampai dengan 20 kali per detik (20 Hz)
Spesifikasi Suasana	
Lapisan	<i>Aluminum extrusion, waterproof</i>
Temperatur saat beroperasi	-30°C sampai 55°C
Dimensi	W: 159 x H: 172 x D: 88 mm/ 6.25 x 6.75 x 3.5 in
Berat	1.65 kg/ 3.64 lbs

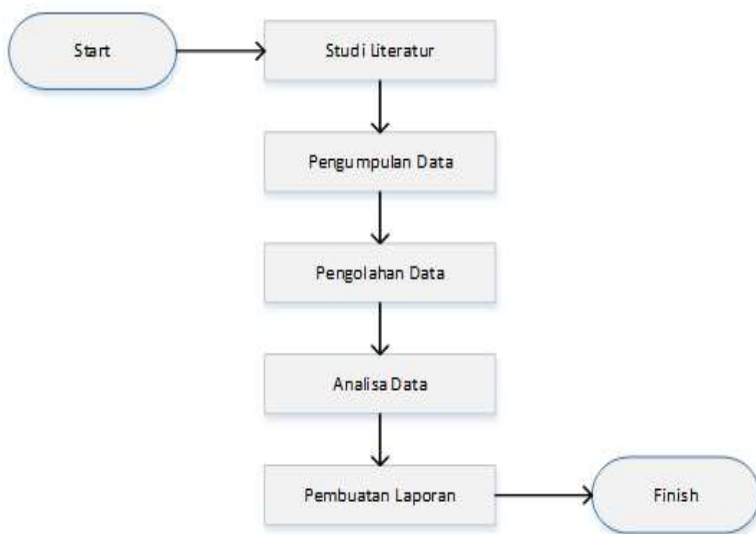
2. Perangkat Lunak

- Sistem Operasi Windows 10
- Sistem Operasi Linux Ubuntu 15.04
- Microsoft Office 2016
- Topcon Tools
- GAMIT/GLOBK

3.3. Metodologi Penelitian

3.3.1. Tahapan Penelitian

Tahapan dari penelitian ini ditunjukkan dalam Gambar 3.2 berikut:



Gambar 3.2 Diagram Alir Tahapan Penelitian

1. Studi Literatur

Sebelum sebuah penelitian dikerjakan, peneliti harus menguasai materi ataupun dasar-dasar dari bidang

yang akan diteliti. Pengumpulan literatur mengenai GPS, GAMIT/GLOBK, dan penurunan tanah akan membantu proses pengerjaan penelitian ini. Literatur yang digunakan dalam bentuk buku, jurnal ilmiah, konferensi resmi, majalah, publikasi media, internet, dan lain-lain.

2. Pengumpulan Data

Pada tahapan ini dilakukan pengumpulan data yang diperlukan dalam penelitian. Data yang diperlukan adalah data pengamatan lapangan menggunakan GPS Geodetik dan data pendukung (data Stasiun IGS, data awal, data navigasi satelit, dan lain-lain). Data pengamatan lapangan diambil di lokasi penelitian pada bulan Oktober 2016, Desember, dan Februari 2017 dengan rincian dua bulan satu kali pengamatan. Tahap pengumpulan data lebih lanjut dijelaskan pada Gambar 3.3.

3. Pengolahan Data

Pada tahap ini dilakukan pengolahan data yang telah diperoleh dari lapangan dan data pendukung untuk selanjutnya dilakukan analisa. Tahap pengolahan data lebih lanjut dijelaskan pada Gambar 3.4.

4. Analisa Data

Analisa yang dilakukan pada penelitian ini adalah analisa penurunan tanah yang terjadi di wilayah kota Surabaya.

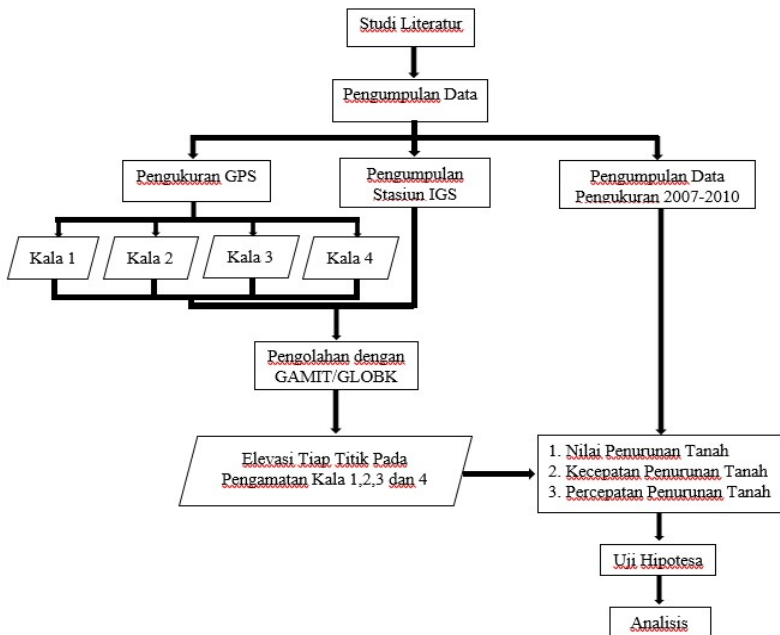
5. Pembuatan Laporan

Pada tahap ini, dilakukanlah penulisan laporan dari semua kegiatan penelitian yang telah dilakukan.

3.4. Diagram Alir Penelitian

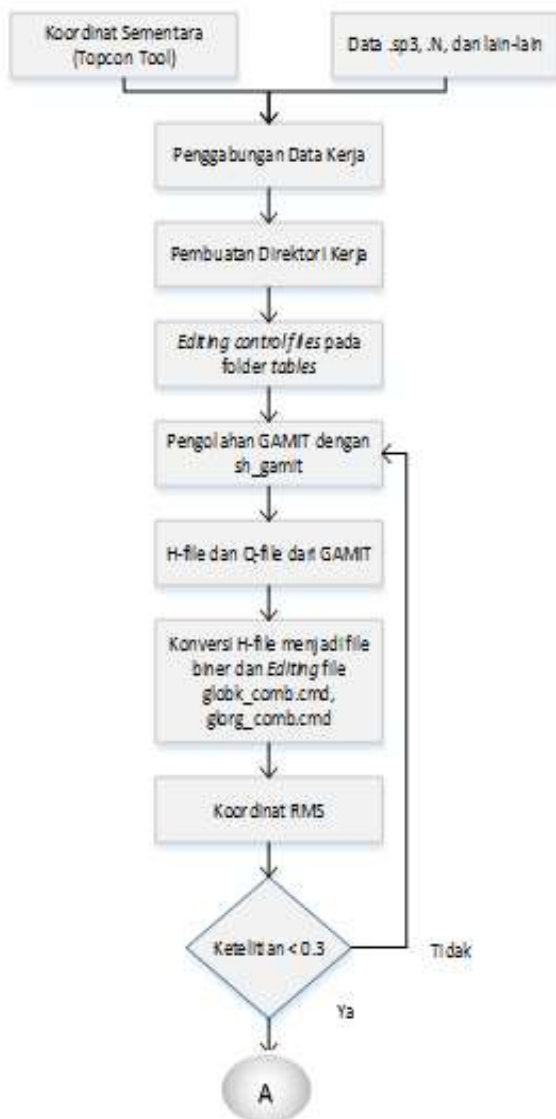
Diagram alir penelitian dapat dilihat pada Gambar 3.3 dan 3.4. Penjelasan diagram alir tahap pengolahan data adalah sebagai berikut:

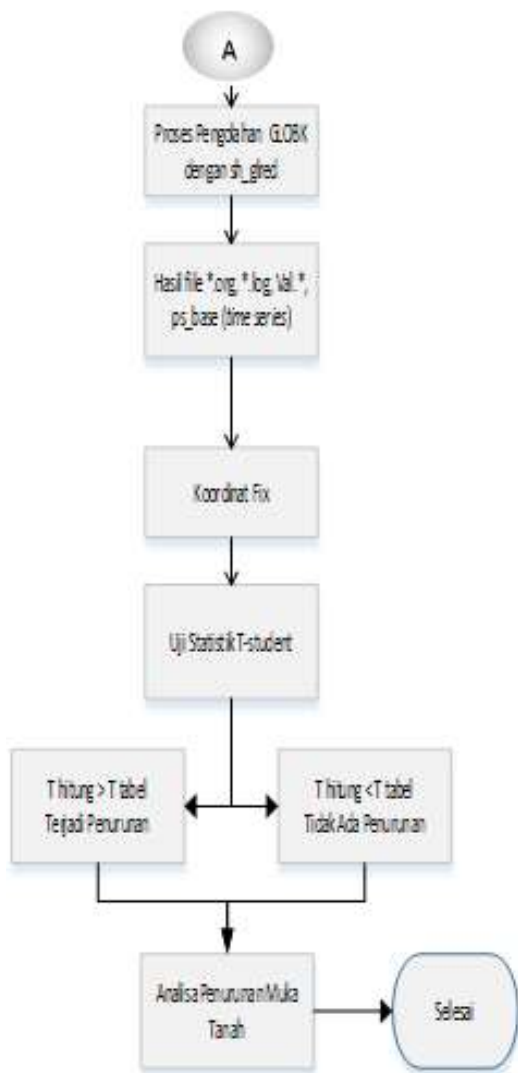
1. Pengumpulan Data



Gambar 3.3 Diagram Alir Pengumpulan Data

Pengumpulan data merupakan tahap awal untuk mempersiapkan data yang akan diolah, dalam hal ini data GPS yang diperoleh dari pengamatan langsung di lapangan maupun data Stasiun IGS sebagai titik ikat. Data pengamatan langsung di lapangan dilakukan sebanyak empat kala, yakni bulan Juli 2011, Oktober 2016, Desember 2016 dan Februari 2017. Data Stasiun IGS (Bako, Cnmr, Coco, Darw, Guam, Karr, Nnor, Pimo, Xmis) sebagai titik ikat. Titik-titik stasiun IGS tersebut dipilih karena datanya yang stabil juga merupakan titik IGS yang terdekat dengan Surabaya. Selain alasan tersebut penelitian sebelumnya juga menggunakan titik-titik IGS yang sama.





Gambar 3.4 Diagram Alir Pengolahan Data

Karena pengamatan penurunan tanah membutuhkan ketelitian yang tinggi, pada proses pengukuran juga harus dilakukan dengan baik. yaitu menghilangkan objek yang dapat mengurangi ketelitian terhadap pengukuran seperti dahan pohon atau objek lain, pengecekan tinggi alat yang dilakukan tiga kali selama proses pengukuran yaitu di awal, pertengahan dan menjelang akhir juga metode pengukuran GPS. Akuisisi data GPS selain pada pengukuran juga membutuhkan beberapa data lain diantaranya data Stasiun IGS sebagai titik ikat, data precise ephemeris dan data navigasi satelit.

Pengolahan baseline pada dasarnya bertujuan menghitung vektor baseline (dX, dY, dZ) menggunakan data fase sinyal GPS yang dikumpulkan pada dua titik ujung dari baseline yang bersangkutan. Proses penentuan baseline umumnya dimulai dari pemrosesan awal seperti pembersihan dari data *outlier* serta sinkronisasi data dari kedua stasiun. Selanjutnya satu stasiun dijadikan sebagai titik referensi yang koordinatnya telah diketahui dari survei GPS. Koordinat pendekatan dari stasiun yang lainnya umumnya pertama kali ditentukan dengan data pseudorange secara absolut. Koordinat stasiun tersebut selanjutnya di estimasi menggunakan data fase *double-difference*.

Pengolahan data suatu jaringan survey GPS akan melibatkan sejumlah vektor baseline serta beberapa titik kontrol yang sudah diketahui koordinatnya dalam system WGS 1984. Hitung perataan dilakukan dengan menggunakan hitung perataan kuadrat terkecil.

$$X_C = X_A + \Delta X_{AC} + v_{X_{AC}}$$

$$Y_C = Y_A + \Delta Y_{AC} + v_{Y_{AC}}$$

$$Z_C = Z_A + \Delta Z_{AC} + v_{Z_{AC}}$$

$$A X = L + V$$

Dimana

X_C = Koordinat Fix

X_A = Titik ikat refrensi

ΔX_{AC} = Selisih titik ikat refrensi dan pendekatan

U_{XAC} = Koreksi

A = Koefisien

X = Parameter

L = Matriks Pengamatan

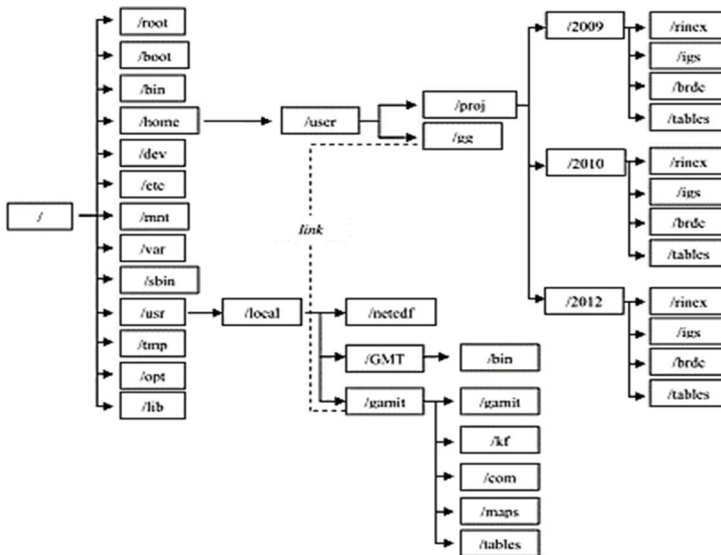
V = Koreksi

Untuk filtering sendiri dilakukan dengan GLOBK yang merupakan suatu paket program yang dapat mengkombinasikan data survei teristris dan ekstrateristris. masukkan pada pengolahan GLOBK adalah matriks kovarians dari data koordinat stasiun, parameter rotasi bumi, parameter orbit, dan koordinat hasil pengamatan lapangan (Herring,dkk.,2006). Hasil yang didapatkan oleh GLOBK antara lain koordinat stasiun rata-rata, kombinasi pengamatan dari beberapa stasiun untuk menghasilkan kecepatan stasiun dan deret waktu.

RMS *Error* dilihat dari *postfit rms* pada *hfile*. Untuk menentukan apakah proses GAMIT dapat dilanjutkan menjadi GLOBK, perlu dievaluasi hasil RMS. RMS pada *autcln* memiliki penetapan minimum 0.3 m. Apabila hasil RMS diatas 0.3 m maka pengolahan tersebut memiliki masalah. Masalah yang terjadi adalah bad apriori coordinates, poor tracking receiver, ataupun ambiguity resolution yang tidak bias diperbaiki (Herring, 2010).

2. Pembuatan Direktori Kerja File GAMIT

Untuk melakukan pengolahan data dengan GAMIT diperlukan pembuatan direktori kerja yang terletak pada direktori *home* (*~/*). Pada umumnya pada setiap direktori kerja memiliki direktori *project* yang menjadi tempat utama dalam pengolahan data nantinya.



Gambar 3.5 Contoh Struktur Direktori Kerja dan Organisasi Data
(Safi'i, 2014)

Dalam direktori *project* tersebut nantinya terdapat folder-folder yang menyusun struktur kerja dari pengolahan GAMIT, adapun folder tersebut adalah :

- RINEX, folder yang digunakan untuk menyimpan file-file RINEX observasi baik itu dari titik pengamatan ataupun titik ikat.
- Prechise Ephemeris*, folder yang digunakan untuk menyimpan file pendukung yaitu orbit satelit.

Pada umumnya file yang digunakan bertipe *final precise ephemeris* dengan format *.sp3.

- c. BRDC, folder yang digunakan untuk menyimpan file pendukung yaitu file navigasi global sesuai dengan DOY *project* yang akan diolah. File navigasi tersebut terdapat dua tipe yaitu auto[ddd]0.[yy]n dan brdc[ddd]0.[yy]n. Dimana ddd adalah DOY atau hari dari pengamatan, dan yy adalah *year*/tahun.
- d. Tables, folder yang berisi file-file kontrol dari pengolahan GAMIT. Folder tables dibuat secara otomatis menggunakan perintah bawaan dari *software* GAMIT yaitu dengan mengetikkan “sh_setup -yr [yyyy] -apr [apr file]” pada direktori *project*. Dalam perintah tersebut “yyyy” menyatakan tahun dari data yang digunakan dan “apr file” menyatakan ITRF yang digunakan.

3. Editing Control Files pada Folder Tables

Editing Control Files merupakan tahapan untuk mengatur parameter dan skenario pengamatan dari perangkat lunak GAMIT sesuai yang telah direncanakan. Adapun *control files* yang perlu diedit adalah sebagai berikut:

- a. File *lfile.* , berisi koordinat pendekatan (apriori) dari stasiun pengamatan global. Koordinat dari stasiun pengamatan baik titik pantau maupun titik kontrol harus ditambahkan ke dalam file ini.
- b. File *station.info*, merupakan file yang berisi informasi dari setiap stasiun yang diolah. Adapun informasi yang terdapat pada file *station.info* seperti informasi waktu, tinggi antena, tipe *receiver*, dll.
- c. File *process.defaults*, digunakan untuk menentukan lokasi file-file yang akan dilakukan

pengolahan GAMIT. File ini juga digunakan untuk menentukan tipe file navigasi yang digunakan serta apr file yang digunakan.

- d. File *sestbl*, merupakan file yang berisi skenario pengolahan. Untuk melakukan analisa deformasi pada Gunung Merapi, maka salah satu parameter yang perlu diubah adalah *choice of experiment* diubah menjadi “BASELINE”. Selain *choice of experiment* bagian lain yang diubah adalah *atml.grid* yang menunjukkan kandungan atmosfer pilih opsi “Y”, *map.grid* sebagai pengeplotan koordinat *repeatabilities* dengan GMT pilih opsi “Y”, dan *otl.grid* sebagai pemodelan pasang surut air laut pilih opsi “Y”.
- e. File *sites.defaults*, merupakan file yang digunakan dalam *automatic batch processing*. File ini digunakan untuk mengontrol penggunaan stasiun dalam pengolahan dengan GAMIT dan GLOBK.
- f. File *sittbl*, merupakan file yang didalamnya berisi nilai *constraint* pada setiap koordinat apriori stasiun yang akan diolah. Untuk titik ikat berikan nilai *constraint* yang kecil, karena dianggap tidak memiliki perubahan posisi yang besar sedangkan untuk titik pengamatan berikanlah *constraint* yang besar.

4. Pengolahan menggunakan GAMIT

Setelah semua data sudah terkumpul dan *control files* telah diatur, langkah berikutnya adalah melakukan perintah “sh_gamit” pada terminal linux dengan perintah lengkap sebagai berikut:

```
sh_gamit -d yyyy ddd1 ddd2 dddn -expt [expt]
```

dimana “yyyy” adalah tahun dari data yang diolah, “ddd₁” adalah DOY data pertama yang diolah, “ddd₂” adalah DOY data kedua yang diolah, “ddd_n” adalah DOY data ke-n yang diolah, dan “expt” adalah nama *experiment* atau nama *project* pengolahan. Hasil yang didapatkan dari pengolahan GAMIT adalah folder sebanyak DOY yang diolah. Setiap folder DOY terdapat h-file hasil pengolahan GAMIT.

5. Konversi h-file dan *Editing file globk_comb.cmd* dan *glorg_comb.cmd*

Untuk melanjutkan pengolahan dengan GLOBK file h-file hasil dari pengolahan GAMIT perlu dikonversi menjadi file biner begitu juga h-file global, adapun cara konversi data tersebut dapat dilakukan dengan perintah sebagai berikut:

```
htoglb [directory output][ephemeris file][input file]
```

a

sil konversi dari perintah diatas adalah berupa file *.glr dan *.glx. File berformat *.glr merupakan solusi *ambiguitas fase free* dan file *.glx merupakan solusi *ambiguitas fase fixed*. Setelah proses konversi, file berformat *.glx perlu digabungkan menjadi satu file dengan format *.gdl. Penggabungan dapat dilakukan dengan menuliskan perintah sebagai berikut:

```
ls ../[directory input]/*.glx > [nama.project].gdl
```

hasil dari perintah tersebut adalah munculnya file “nama project.gdl”.

Setelah proses konversi, dilakukan proses *editing file globk_comb.cmd* dan *glorg_comb.cmd* yang dapat dicopy dari folder ~/gg/tables, kemudian file tersebut ditempatkan pada folder *gsoln*. Untuk mendapatkan output koordinat UTM dan koordinat geodit, maka pada bagian prt_opt

diedit menjadi GDLF CMDS GEOD UTM. Sedangkan untuk mendapatkan output panjang *baseline* pada bagian `org_opt` diedit menjadi PSUM CMDS GDLF BLEN.

Apabila hasil koordinat RMS memenuhi ketelitian dibawah 0,3, maka dapat dilanjutkan ke tahap berikutnya. Jika hasil koordinat tidak memenuhi ketelitian tersebut, maka perlu dilakukan pengolahan GAMIT dari awal.

6. Pengolahan menggunakan GLOBK

Langkah selanjutnya adalah melakukan pengolahan GLOBK untuk mendapatkan perubahan koordinat secara *time series*. Adapun bentuk perintah yang harus dimasukkan pada terminal linux adalah sebagai berikut:

```
sh_glred -s yyyy1 ddd1 yyyy2 ddd2 -expt [expt] -opt H G E
```

Keterangan :

yyyy₁ : tahun awal dari data yang diolah
 ddd₁ : DOY awal dari data yang diolah
 yyyy₂ : tahun akhir dari data yang diolah
 ddd₂ : DOY akhir dari data yang diolah
 expt : nama *experiment* atau nama *project*
 H : memindah h-file kedalam direktori glbf
 G : membentuk file ekstensi .gdl pada setiap harinya ke dalam direktori gsoln
 E : *plottingtime series*

Hasil dari menjalankan GLOBK adalah *file* berekstensi .org, kemudian *file plotting time series* dengan pola file `psbase_[expt].[GPS]`, selain itu juga terdapat file yang berisi koordinat toposentris dengan pola nama `VAL.[expt]`.

7. Analisa Penurunan Tanah

Setelah terdapat koordinat dari GLOBK, perlu dilakukannya uji *t-student* dan analisa penurunan tanah. Uji *t-student* pada uji statistik dilakukan dengan membandingkan *t*-hitungan dengan *t*-tabel dan meninjau dari kolom signifikansi. Koordinat dari GLOBK dilakukan plotting sehingga terdapat grafik. Dari grafik dan hasil uji itulah, peneliti menyimpulkan apakah dalam suatu titik lokasi pengamatan terdapat penurunan yang signifikan atau tidak.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Hasil Pengolahan Data Pengamatan GPS

Penelitian ini dilakukan pada sekitaran wilayah kota Surabaya sebagai objek pengambilan data GPS berdasarkan titik-titik yang telah ada sebelumnya menggunakan GPS Geodetik Topcon HiprerPro dengan titik ikat Stasiun IGS sekitar titik pengamatan. Data yang didapatkan masih berupa data mentah sehingga perlu diubah menjadi data RINEX (*Receiver Independent Exchange Format*) agar pengolahan dapat dilanjutkan ke perangkat lunak GAMIT/GLOBK. Proses perubahan data tersebut dilakukan di TOPCON TOOLS yang merupakan perangkat lunak bawaan alat GPS Geodetik Topcon HiprerPro, selain TOPCON TOOLS program komprehensif yang digunakan sebelum pemrosesan data GPS ke dalam format RINEX adalah TEQC.

Hasil tersebut berupa data .yyo, .yyn, dan .yyg (dimana yy merupakan dua angka terakhir tahun pengamatan). Karena data utama yang dibutuhkan pada GAMIT/GLOBK adalah data RINEX atau .yyo, maka hanya diambil data .yyo hasil perubahan pada perangkat lunak TOPCON TOOLS.

Data RINEX .yyo baik titik pengamatan maupun titik ikat dimasukkan ke direktori kerja bersamaan dengan data precise ephemeris, data navigasi satelit, maupun data pendukung seperti data ion dan meteorologi. Setelah tabel direktori kerja telah disesuaikan, maka dilakukan proses GAMIT dengan perintah `sh_gamit`. GAMIT berguna untuk menentukan estimasi, matriks kovarian, dan parameter rotasi bumi (Herring, 2010a). Hasil yang diperoleh dari `sh_gamit` berupa folder `doy` dan data selain `doy` yang dihasilkan dari perubahan pengaturan di folder `table` direktori kerja. Agar hasil dari proses GAMIT ini dapat dilanjutkan ke GLOBK, maka perlu dicermatinya *root mean square/rms* pada `hfile` atau `qfile` pada folder `doy`. Data dengan hasil rms dibawah 0,3 m dapat digunakan untuk proses GLOBK. Apabila hasil rms

diatas 0,3 m, perlu dilakukan pengecekan menyeluruh pada direktori kerja dan `sh_gamit` ulang sampai hasil rms dibawah 0,3 m.

Setelah hasil rms dibawah 0,3 m pada proses GAMIT, proses selanjutnya adalah melakukan GLOBK pada hasil keluaran GAMIT. GLOBK berfungsi untuk menghasilkan koordinat akhir, *time-series*, dan *velocity*/laju pergeseran posisi (Herring, 2010a). Data hfile yang dihasilkan di folder `doy` diubah menjadi data biner, sehingga dapat diproses. Perintah `globk_comb.cmd` dan `glorg_comb.cmd` perlu dilakukan penyesuaian. Hasil koordinat akhir dapat dilihat dari VALfile pada folder `gsoln`. Nilai elevasi yang ditampilkan berdasarkan pada nilai *ellipsoid* yaitu representasi matematis dari bentuk fisik Bumi yang didapatkan dari pengamatan GPS. Adapun hasil koordinat akhir titik pengamatan dari GLOBK pada penelitian ini tertuang pada Tabel 4.1 hingga 4.4, yakni:

Tabel 4.1 Data Koordinat Pengamatan GPS Bulan Juli Tahun 2011

Data Koordinat				
No	Titik	Bujur	Lintang	Elevasi (m)
1	Rungkut	112.757	-7.3269	32,577
2	Sbrt	112.7444	-7.2676	43,349
3	ITS	112.7906	-7.2794	32,096
4	Waru	112.7292	-7.345	34,999
5	Pusat	112.7072	-7.3002	33,586
6	Kalianak	112.7779	-7.2219	31,898
7	Kenjeran	112.7099	-7.2301	32,046
8	Pasarturi	112.7316	-7.2486	32,261

Tabel 4.2 Data Koordinat Pengamatan GPS Bulan Oktober Tahun 2016

Data Koordinat				
No	Titik	Bujur	Lintang	Elevasi (m)
1	Rungkut	112.747	-7.3294	33,008
2	Sbrt	112.7444	-7.2676	43,348
3	ITS	112.7906	-7.2794	32,046
4	Waru	112.7292	-7.345	34,933
5	Pusat	112.7072	-7.3002	33,518
6	Kalianak	112.7779	-7.2219	31,825
7	Kenjeran	112.7099	-7.2301	32,023

Tabel 4.3 Data Koordinat Pengamatan GPS Bulan Desember Tahun 2016

Data Koordinat				
No	Titik	Bujur	Lintang	Elevasi (m)
1	Rungkut	112.747	-7.3294	32,990
2	Sbrt	112.7444	-7.2676	43,348
3	ITS	112.7906	-7.2794	32,044
4	Waru	112.7292	-7.345	34,931
5	Pusat	112.7072	-7.3002	33,515
6	Kalianak	112.7779	-7.2219	31,822
7	Kenjeran	112.7099	-7.2301	32,022

Tabel 4.4 Data Koordinat Pengamatan GPS Bulan Februari Tahun 2017

Data Koordinat				
No	Titik	Bujur	Lintang	Elevasi (m)
1	Rungkut	112.747	-7.3294	32,987
2	Sbrt	112.7444	-7.2676	43,348
3	ITS	112.7906	-7.2794	32,042
4	Waru	112.7292	-7.345	34,928
5	Pusat	112.7072	-7.3002	33,512
6	Kalianak	112.7779	-7.2219	31,820
7	Kenjeran	112.7099	-7.2301	32,022

4.2. Hasil Penaikan/Penurunan Tanah

Pada proses pengamatan GPS mulai kala pertama hingga ke empat seperti yang tertera pada tabel 4.1 hingga tabel 4.4 dan pengolahan dengan *Software* GAMIT/GLOBK maka didapatkan nilai koordinat estimasi fix. Setelah didapatkan koordinat estimasi fix, dilakukan pengamatan pada semua kala khususnya vertikal. Pengamatan antar kala bertujuan untuk melihat apakah ada penaikan maupun penurunan antara satu kala dengan kala lainnya, dengan kata lain melihat adanya vektor pergeseran vertikal. Adapun hasil penaikan/penurunan tanah antar kala yakni:

Tabel 4.5 Selisih Vertikal Antar Kala

No	Titik	Kala 1 (m)	Kala 2 (m)	Selisih Kala 1-2	Kala 3 (m)	Selisih Kala 2-3	Kala 4 (m)	Selisih Kala 3-4
1	Rungkut		33,008		32,99	-0,018	32,987	-0,003
2	Sbrt	43,349	43,348	-0,001	43,348	0	43,348	0
3	ITS	32,096	32,046	-0,05	32,044	-0,002	32,042	-0,002
4	Waru	34,999	34,933	-0,066	34,931	-0,002	34,928	-0,003
5	Pusat	33,586	33,518	-0,068	33,515	-0,003	33,512	-0,003
6	Kenjeran	32,046	32,023	-0,023	32,022	-0,001	32,022	0
7	Kalianak	31,898	31,825	-0,073	31,822	-0,003	31,82	-0,002

Dari tabel 4.1 sampai 4.4 dan tabel 4.5 diatas terdapat hasil penurunan tanah pada keseluruhan kala. Pada kala 1-2, penurunan terkecil ada pada titik Sbrt dengan nilai -0.001 m dan dengan nilai terbesar -0.073 m pada titik Kalianak. Pada kala 2-3, penurunan terkecil terdapat pada titik Kenjeran dengan nilai adalah -0.001 m dan nilai penurunan terbesar terdapat pada titik Rungkut sebesar -0.018 m, sedangkan terdapat satu titik yang tidak mengalami penurunan ataupun penaikan yaitu pada titik Sbrt. Pada kala 3-4, penurunan terkecil terdapat pada titik ITS dan Kalianak dengan nilai sama yaitu -0.002 m dan penurunan terbesar terdapat pada tiga titik yaitu Rungkut, Pusat, dan Waru dengan nilai penurunan yang sama yaitu sebesar -0.003 m. Pada kala ini juga terdapat dua titik yang tidak mengalami pergeseran yaitu titik Sbrt dan titik Kenjeran

Selain selisih antar kala, pengamatan vektor vertikal juga diambil pada seluruh kala (Juli 2011, Oktober, Desember 2016 dan Februari 2017). Keseluruhan kala perlu diamati untuk melihat bagaimana kecendrungan penaikan/penurunan tanah yang terjadi. Berikut selisih penurunan yang terjadi pada kala 1 hingga kala 4 :

Tabel 4.6 Selisih Vertikal Seluruh Kala

No	Titik	Penurunan Kala 1-4 (m)
1	Sbrt	-0,001
2	ITS	-0,054
3	Waru	-0,071
4	Pusat	-0,074
5	Kenjeran	-0,024
6	Kalianak	-0,078

Tabel 4.7 Selisih Vertikal Seluruh Kala

No	Titik	Penurunan Kala 2-4 (m)
1	Rungkut	-0,021

Dari tabel 4.6 dan 4.7 diatas, terdapat hasil penurunan tanah pada seluruh kala (Juli 2011, Oktober, Desember 2016 dan Februari 2017) dengan penurunan tanah terkecil adalah 0.001 m pada titik Sbrr dan penurunan tanah terbesar adalah -0.078 m pada titik Kalianak. dari hasil tersebut teridentifikasi adanya kecenderungan penurunan tanah dalam penelitian ini. Perlu adanya pengevaluasian penurunan tanah yang dilakukan dengan uji hipotesis untuk mengetahui apakah titik-titik tersebut mengalami penurunan tanah secara signifikan atau tidak.

4.3. Hasil Uji Statistika

Keseluruhan titik pengamatan untuk ketinggian (u) untuk dilihat vektor pergeseran vertikalnya. Dengan data yang akan di uji adalah pada tabel 4.6 dan 4.7. Setelah mengetahui besaran pergeseran vertikal titik pengamatan GPS selama Juli 2011, Oktober, Desember 2016 dan Februari 2017, maka perlu dilakukan pengujian statistik untuk melihat vektor pergeseran. Pengujian statistik pada penelitian ini menggunakan uji *t-student*. Uji statistik ini dilakukan dengan menguji variabel pergeseran titik (P_{xy}) dari sesi pengamatan x ke y dibagi dengan standar deviasi titik. Adapun rumus variabel pergeseran titik yakni:

$$P_{xy} = \sqrt{(du_{xy})^2} \quad (4.1)$$

Sedangkan untuk standar deviasi dihitung menggunakan rumus:

$$Std P_{xy} = \sqrt{(sd)} du_{xy}^2 \quad (4.2)$$

Hipotesis nol yang dilakukan pada uji statistik ini adalah titik pengamatan tidak terjadi *uplifting* maupun *subsidence* dalam selang waktu h, sehingga:

$$\text{Hipotesis nol} \quad H_0 : P_{xy} = 0$$

$$\text{Hipotesis alternatif} \quad H_1 : P_{xy} \neq 0$$

Adapun rumus uji *t-student* yang digunakan untuk menguji pergeseran vertikal titik pengamatan yakni:

$$T = P_{xy} / Std P_{xy} \quad (4.3)$$

Setelah melakukan uji statistik, hasil dari uji statistik diuji kembali dengan uji hipotesis seperti yang tercantum pada rumus (2.5). Pergeseran vertikal dinyatakan signifikan apabila hipotesis nol ditolak atau hipotesis alternatif diterima. Pergeseran dinyatakan signifikan jika (Wolf & Ghilani, 2006):

$$T > t_{df, \alpha/2}$$

Untuk tingkat kepercayaan pada uji statistik ini digunakanlah selang kepercayaan 90%, sehingga nilai dari uji hipotesis signifikan sebesar 2,35 jika dilihat dengan *df* (*degree of freedom*) 3 pada tabel t-distribution (Mikhail & Gracie, 1981). Tabel 4.8 berikut menunjukkan besar pergeseran yang terjadi di semua titik pengamatan.

Tabel 4.8 Hasil Uji *T-Test*

Waktu	Titik	dU	std U	Pxy	std Pxy	T	Pergeseran
2011-2017	KJRN	-0,024	0,010256096	0,024	0,010256096	2,340072	Tidak
2011-2017	KLNK	-0,078	0,032812917	0,078	0,032812917	2,377113	Signifikan
2011-2017	KOTA	-0,074	0,030817	0,074	0,030817	2,401272	Signifikan
2011-2017	SBRT	-0,001	0,000433013	0,001	0,000433013	2,309401	Tidak
2011-2017	WARU	-0,071	0,029642664	0,071	0,029642664	2,395196	Signifikan
2011-2017	ITS1	-0,054	0,022561028	0,054	0,022561028	2,393508	Signifikan
2016-2017	RNKT	-0,021	0,009273618	0,021	0,009273618	2,264488	Tidak

Dari hasil uji *t-student* diatas, terdapat empat titik yang mengalami pergeseran signifikan dan tiga titik yang tidak mengalami pergeseran signifikan. Pembahasan mengenai titik yang tidak mengalami pergeseran yang tidak signifikan dapat dilihat pada “Analisa Penurunan Tanah”.

4.4. Percepatan Penurunan Tanah

Setelah didapatkan nilai elevasi pada tiap kalinya maka dapat ditentukan nilai kecepatan pada tiap titiknya dengan membagi nilai elevasi dan waktu tempuh. Ditambah adanya informasi kecepatan terdahulu yaitu pada tahun 2007 hingga 2010 dapat ditentukan nilai percepatan masing-masing titik dengan rumus percepatan (2.9).

Tabel 4.9 berikut menunjukkan besar percepatan yang terdapat pada titik-titik yang dapat dikaitkan dengan pengukuran sebelumnya di lima titik pengamatan.

Tabel 4.9 Hasil Perhitungan Percepatan

Titik	Kecepatan 2007-2010 (mm/tahun)	Kecepatan 2011-2017 (mm/tahun)	Delta V	Delta T	Percepatan/tahun (mm/tahun ²)
Kenjeran	-3,2	-4,35	-1,15	6,25	-0,184
Kalianak	-10,74	-13,93	-3,19	6,25	-0,5104
Pusat	-12	-13,18	-1,18	6,25	-0,1888
Sbrt	0,03	-0,18	-0,21	6,25	-0,0336
Waru	-6,74	-12,53	-5,79	6,25	-0,9264

4.5. Analisa Penurunan Tanah

Berdasarkan pengujian statistik yang dilakukan selama empat kala didapatkan titik yang mengalami pergeseran baik secara signifikan maupun titik yang tidak mengalami pergeseran signifikan. Hasil uji statistik yang tidak mengalami pergeseran vertikal secara signifikan terdapat pada Tabel 4.10 berikut:

Tabel 4.10 Hasil Uji *T-Test* Tidak Signifikan

Waktu	Titik	dU	std U	Pu	std Pu	T	Pergeseran T>2,35
2011-2017	KJRN	-0,024	0,010256096	0,024	0,010256096	2,340072	Tidak
2011-2017	SBRT	-0,001	0,000433013	0,001	0,000433013	2,309401	Tidak
Waktu	Titik	dU	std U	Pu	std Pu	T	Pergeseran T>2,92
2016-2017	RNKT	-0,021	0,009273618	0,021	0,009273618	2,264488	Tidak

Dilihat dari table 4.9 beberapa titik memiliki nilai percepatan yang cukup tinggi. Selain bertambahnya jumlah penduduk dan pemukiman, terdapat beberapa faktor lain yang membuat nilai percepatan penurunan tanah di Surabaya cukup tinggi. Menurut *Associate Director Research Colliers International* Indonesia, Ferry Salanto, Surabaya memiliki pertumbuhan cukup tinggi terutama di subsektor perkantoran. Jika pada 2014, jumlah perkantoran secara kumulatif seluas 291.262 meter persegi, maka dalam kurun tiga tahun mendatang yakni 2015-2018 akan bertambah menjadi 800.000 meter persegi. Pada sektor lain berdasarkan data dari Badan Pusat Statistik kota Surabaya jumlah hotel pada tahun 2014 sebanyak 28 Hotel dan berdasarkan Informasi dari harian kompas jumlah hotel yang terdapat di Surabaya pada awal 2017 yaitu berkisaran pada 150 Unit hotel. Belum lagi jika perkantoran, pemukiman, hotel dan lainnya menggunakan air tanah sebagai sumber utamanya. Hal ini perlu diwaspadai mengingat Surabaya merupakan Kota yang letaknya berada di pesisir pantai.

Kondisi geologi Kota Surabaya terdiri dari Daratan Aluvium, Formasi Kabuh, Pucangan, dan Lidah. Sebagian besar wilayah Surabaya adalah daratan Aluvium yang terdiri dari kerakal, kerikil, pasir, lempung dan sedikit cangkang fosil. Untuk sebagian kecilnya kondisi geologi Surabaya terdapat beberapa formasi yaitu formasi Kabuh, Pucangan, Lidah, dan Pamekasan. Untuk komposisi dari formasi-formasi tersebut adalah berupa batu pasir, kerikil, pecahan cangkang, miskin fosil dan keras bila kering. Untuk titik SBRT yang terletak pada daerah Dukuh Pakis bukan berada pada wilayah Aluvium tepatnya terdapat pada formasi lidah sehingga penurunannya tidak sebesar titik lainnya yang terdapat pada tanah Aluvium dan cenderung stabil.

Hasil perhitungan penurunan tanah pada penelitian ini perlu dilakukan perbandingan dengan data yang telah ada sebelumnya. Tidak semua data pada pengamatan tahun 2016 dan 2017 dapat dikaitkan dengan penelitian sebelumnya, karena terdapat titik yang hilang, titik yang tidak ada sebelumnya dan

titik baru. Adapun titik-titik yang dapat dikaitkan dengan penelitian sebelumnya antara lain:

- Kenjeran
- Kalianak
- Pusat
- Sbrt
- Waru
- ITS

Dengan membandingkan penelitian sebelumnya dan penelitian ini akan dihasilkan perbedaan yang berupa nilai perubahan titik vertikal. Adapun perbandingan penelitian 2007, 2009 dan 2010 sebagai berikut:

Tabel 4.11 Hasil Perbedaan Penelitian 2017 dengan 2007

No	Titik	Perbedaan (m)
1	Sbrt	0,024
2	Waru	-0,056
3	Pusat	-0,148
4	Kalianak	-0,068
5	Kenjeran	-0,015

Tabel 4.12 Hasil Perbedaan Penelitian 2017 dengan 2009

No	Titik	Perbedaan (m)
1	Sbrt	-0,001
2	ITS	-0,023
3	Waru	-0,077
4	Pusat	-0,176
5	Kalianak	-0,066
6	Kenjeran	-0,019

Tabel 4.13 Hasil Perbedaan Penelitian 2017 dengan 2010

No	Titik	Perbedaan (m)
1	Sbrt	0,024
2	Waru	-0,035
3	Pusat	-0,111
4	Kalianak	-0,033
5	Kenjeran	-0,005

Dari Penelitian sebelumnya dengan penelitian ini didapatkan perubahan titik vertikal. Perbandingan penelitian tahun 2007 dan 2017 berupa penurunan tanah terkecil adalah pada titik Kenjeran sebesar -0.015 m dan penurunan tanah terbesar terdapat pada titik pusat -0.148 m. Sedangkan terdapat perubahan berupa kenaikan tanah sebesar 0.024 pada titik Sbrt. Pada perbandingan penelitian tahun 2009 dengan 2017 perubahan penurunan tanah terkecil adalah -0.001 m pada Sbrt dan terbesar adalah -0.176 m pada titik Pusat. Terakhir perbandingan data tahun 2010 dan 2017 untuk titik yang mengalami penurunan terkecil ada pada titik Kenjeran sebesar -0.005 m dan untuk penurunan terbesar masih terdapat pada titik Pusat sebesar -0.111 m. Selain penurunan, pada informasi perbedaan nilai vertikal pada tahun 2010 dan 2017 ini juga terdapat kenaikan pada titik Sbrt sebesar 0.024 m.

Secara keseluruhan hasil penelitian ini dibandingkan dengan hasil penelitian sebelumnya memiliki kecenderungan untuk turun terbukti dengan hanya terdapat satu titik yang mengalami kenaikan. Kecenderungan untuk turun ini disebabkan oleh penurunan karena beban bangunan wilayah kota Surabaya yang terus tumbuh di setiap tahunnya (*settlement*), dan pengambilan air tanah yang berlebihan. (Abidin, 2007).

Selain penurunan tanah, terdapat suatu fenomena yang terjadi. Fenomena yang terjadi tersebut adalah kenaikan/*uplift* pada titik Sbrr. Terdapat faktor yang menyebabkan kenaikan/*uplift* pada pengamatan tersebut. Faktor tersebut adalah jenis tanah yang berada pada titik Sbrr yang berada di formasi lidah tidak sama dengan jenis tanah di titik lainnya yang merupakan tanah Aluvial.

Penurunan tanah dapat dilihat dengan melakukan *plotting* titik penelitian menggunakan regresi linier. Data pengamatan penelitian sebelumnya digabungkan dengan data penelitian ini, untuk dilakukan regresi linier. Regresi linier dilakukan untuk menentukan formula *trendline* yang terjadi. Adapun rumus regresi linier yakni:

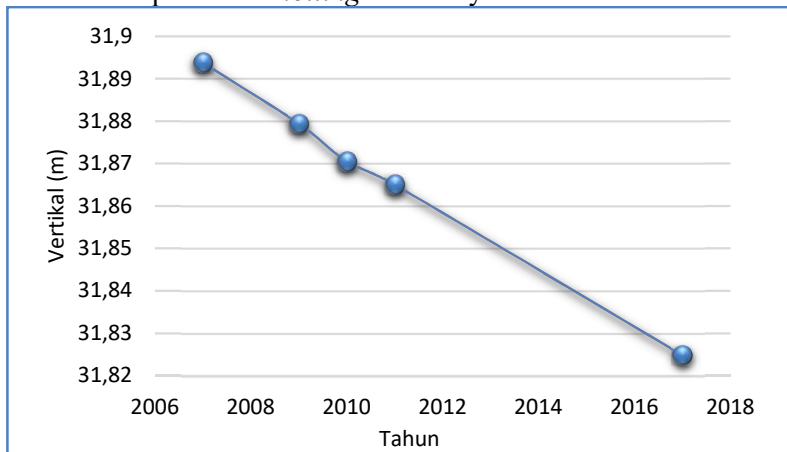
$$Y=a+bX \quad (4.4)$$

Setelah dilakukan regresi linier, didapatkan hasil vektor pergeseran vertikal dan *plotting* penurunan tanah berdasarkan data penelitian 2007, 2009, 2010, 2011 dan 2017. Adapun hasil vektor pergeseran vertikal penelitian 2007, 2009, 2010, 2011 dan 2017 yakni:

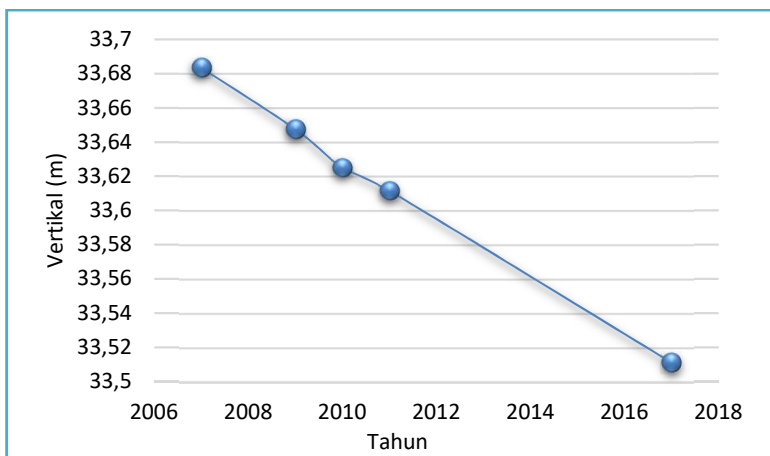
Tabel 4.14 Penurunan Tanah Berdasarkan Penelitian 2007, 2009, 2010, 2011 dan 2017

No	Titik	Perbedaan (m)
1	Sbrr	0,0122
2	ITS	-0,0364
3	Waru	-0,069
4	Pusat	-0,1725
5	Kenjeran	-0,023
6	Kalianak	-0,069

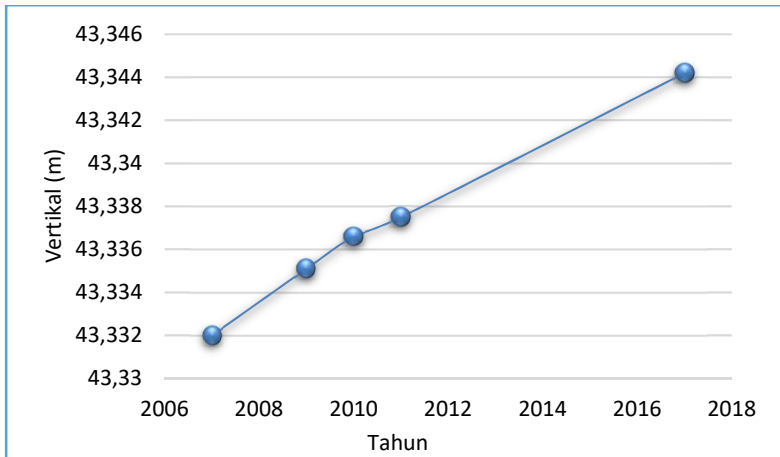
Adapun hasil *Plotting* tersebut yakni:



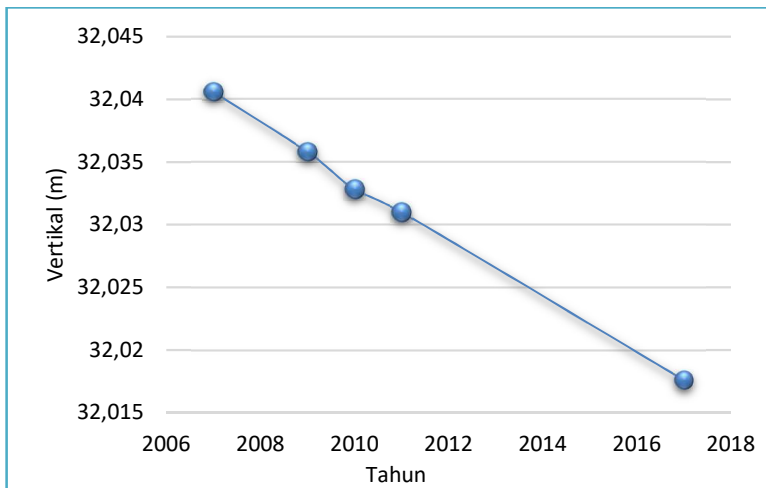
Gambar 4.1 *Plotting* Penurunan Tanah Berdasarkan Penelitian 2007, 2009, 2010, 2011 dan 2017 Titik Kalianak (Sumber: Kurniawan, 2011; Gienputra, 2017)



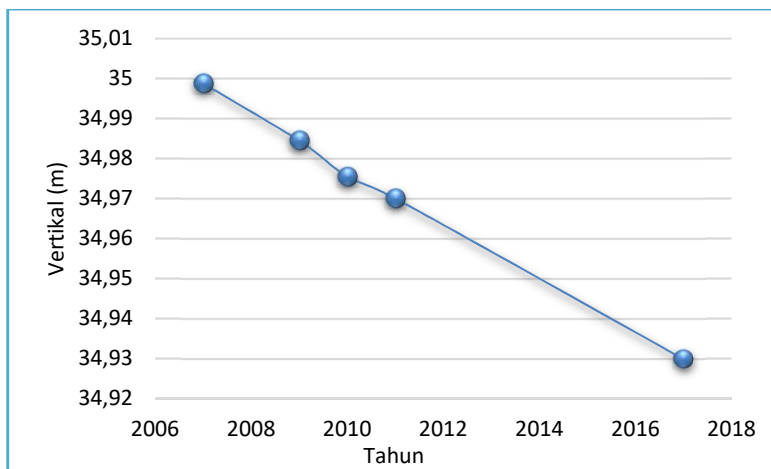
Gambar 4.2 *Plotting* Penurunan Tanah Berdasarkan Penelitian 2007, 2009, 2010, 2011 dan 2017 Titik Kota (Sumber: Kurniawan, 2011; Gienputra, 2017)



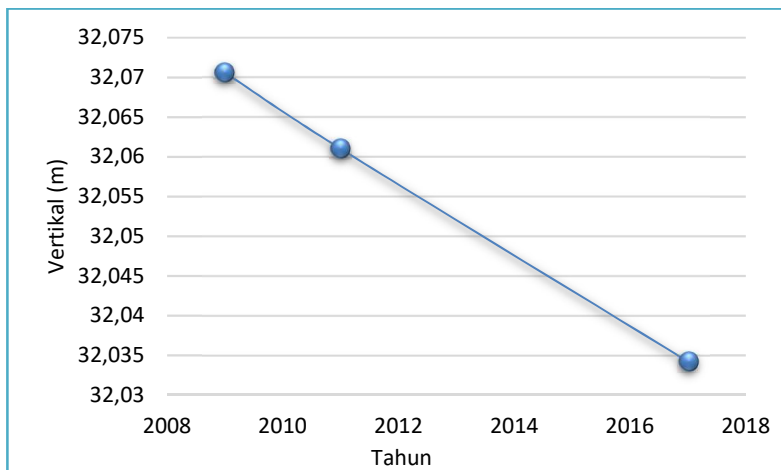
Gambar 4.3 *Plotting* Penurunan Tanah Berdasarkan Penelitian 2007, 2009, 2010, 2011 dan 2017 Titik Sbrt
(Sumber: Kurniawan, 2011; Gienputra, 2017)



Gambar 4.4 *Plotting* Penurunan Tanah Berdasarkan Penelitian 2007, 2009, 2010, 2011 dan 2017 Titik Kenjeran
(Sumber: Kurniawan, 2011; Gienputra, 2017)



Gambar 4.5 *Plotting* Penurunan Tanah Berdasarkan Penelitian 2007, 2009, 2010, 2011 dan 2017 Titik Waru (Sumber: Kurniawan, 2011; Gienputra, 2017)



Gambar 4.6 *Plotting* Penurunan Tanah Berdasarkan Penelitian 2009, 2011 dan 2017 Titik ITS (Sumber: Kurniawan, 2011; Gienputra, 2017)

Dalam *plotting* titik penelitian menggunakan regresi linier diatas, terdapat faktor yang mempengaruhi hasil dari evaluasi penurunan tanah wilayah kota Surabaya ini. Faktor tersebut adalah Jumlah kala pengamatan yang kurang atau kosongnya data sehingga hasil variasi data yang kurang banyak. Hal ini yang menyebabkan berbanding terbaliknya nilai penurunan tanah pada titik Sbrt dengan nilai percepatannya.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB V

KESIMPULAN

4.1. Kesimpulan

Adapun kesimpulan yang didapatkan berdasarkan penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Hasil pengamatan di lapangan pada bulan Juli 2011, Oktober dan Desember 2016 juga Februari 2017 terlihat adanya penurunan. Secara keseluruhan kota Surabaya mengalami penurunan dilihat pada titik Sbrt yang terdapat pada daerah Dukuh Pakis mengalami perubahan vertikal -0,001 m, ITS sebesar -0.054 m, Waru sebesar -0.071, Pusat yang terdapat pada Bambu runcing sebesar -0.074 m, Kenjeran sebesar -0.024 m dan Kalianak sebesar -0.078 m. Selain itu titik Rungkut berdasarkan pengamatan Oktober 2016, Desember 2016 dan Februari 2016 mengalami penurunan sebesar -0.021 m.
2. Didapatkan nilai kecepatan penurunan tanah pertahunnya dari tahun 2011 hingga 2017 yaitu titik yang mengalami kecepatan penurunan tanah terbesar mencapai -13,93 mm pada titik Kalianak dan kecepatan penurunan tanah terkecil pada titik Sbrt sebesar -0,18 mm. Berdasarkan perhitungan antara dua kecepatan pada tahun 2007-2010 dan 2011-2017 titik yang mengalami percepatan paling tinggi adalah titik Waru dengan nilai -0,9264 mm pertahun dan nilai percepatan paling rendah adalah titik Sbrt dengan nilai -0,0336 mm pertahunnya.
3. Dengan digabungkannya penelitian saat ini dan penelitian terdahulu, penelitian ini cenderung mengalami penurunan mengingat hanya satu titik yang mengalami kenaikan jika dibandingkan pada tahun 2007 dan 2010 yakni titik Sbrt. penurunan yang

terjadi di hampir seluruh titik ini merupakan salah satu dari dampak penggunaan air tanah yang berlebihan.

4.2. Saran

Adapun saran yang dapat diberikan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Perlu adanya penambahan kala secara konsisten mengingat berbanding terbaliknya hasil percepatan tahunan dan *trendline* yang terjadi pada titik Sbrt dikarenakan kurangnya data. Semakin banyak data semakin baik dan pengikatan ke titik ikat yang lebih dekat seperti CORS BIG
2. Selain pengamatan GPS perlu adanya metode yang dapat di integrasikan dengan penelitian ini untuk mendapatkan ketelitian yang lebih akurat. Beberapa metode penunjang tersebut adalah pengukuran dengan *waterpass* dan *radargrametri*.
3. Mengurangi penggunaan air tanah karena penggunaan air tanah yang berlebihan dengan kapasitas besar dapat menimbulkan kerugian seperti turunnya permukaan tanah, kemiringan bangunan dan banjir.

DAFTAR PUSTAKA

- Abidin, H. Z. 2007. *Penentuan Posisi dengan GPS dan Aplikasinya*. Jakarta: PT Pradnya Paramita.
- Abidin, H. Z., et al. 2005. *Survey dengan GPS*. Jakarta: Pradnya Paramita.
- Badan Pusat Statistik Provinsi Jawa Timur. No Date. *Laju Pertumbuhan Penduduk Hasil Proyeksi 2011-2015 Menurut Kabupaten/Kota*.
(<https://jatim.bps.go.id/linkTabelStatis/view/id/322>, diakses pada Oktober 2016)
- Baskara, A. 2013. *Pemantauan Land Subsidence Lumpur Lapindo Sidoarjo Menggunakan GPS CORS (Continously Operating Reference System)*. Surabaya: Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Bukhori, I. 2011. *Model Estimasi Uplift dan Subsidence dari Hasil Ukuran GPS Menggunakan Metode Polinomial di Area Lumpur Sidoarjo*. Surabaya: Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Central Iron County Water Conservancy District. 2014. *What Is Being Done about Land Subsidence in Cedar Valley*. (Http://cicwcd.org, diakses pada Januari 2017).
- El-Rabbany, A. 2002. *Introduction to GPS: Global Positioning System*. Massachusetts: Artech House.
- Fisika Zone. 2014. *Percepatan sma xi*.
(<http://fisikazone.com/percepatan-sma-xi/>, diakses pada Januari 2017)
- Ghilani, C. D. & Wolf, P. R. 2006. *Adjustment Computations*. 4th. New Jersey: John Wiley & Sons.
- Krieger, L. M. 2014. *California Drought: San Joaquin Valley Sinking as Farmers Race to Tap Aquifer*. San Jose Mercury News.

- Fulton, A. 2008. *Land Subsidence: What Is It and Why Is It an Important Aspect of Groundwater Management*. California: California Department of Water Resources.
- Hariyanto, T, et al. 2006. *Studi Penurunan Tanah dan Sebaran Area Genangan Lumpur untuk Pengolahan Bencana Di Wilayah Bencana Lumpur Porong Sidoarjo*. Surabaya: Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Herring, T. A., et al. 2010a. *Introduction to GAMIT/GLOBK*. Massachusetts: Department of Earth, Atmospheric, and Planetary Science, Massachusetts Institute of Technology.
- Herring, T. A., et al. 2010b. *GAMIT Reference Manual*. Massachusetts: Department of Earth, Atmospheric, and Planetary Science, Massachusetts Institute of Technology.
- Herring, T. A., et al. 2010c. *GLOBK Reference Manual*. Massachusetts: Department of Earth, Atmospheric, and Planetary Science, Massachusetts Institute of Technology.
- Kompas. 2017. *Eta,Sya, Bro. Jumlah Hotel Di Jawa Timur Berlebih*. (www.kompas/20170331/281956017624198 , diakses pada April 2017)
- Kompas. 2017. *Hilda, B. Alexander. Lonjakan Gedung Perkantoran Surabaya*. ([www.kompas.com/news/lonjakan-gedung perkantoran-surabaya-capai-200](http://www.kompas.com/news/lonjakan-gedung-perkantoran-surabaya-capai-200), diakses pada April 2017)
- Kurniawan, A. 2011. *Evaluasi Penurunan Muka Tanah Di Wilayah Kota Surabaya dengan GAMIT/GLOBK*. Surabaya: Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Long Island University. No date. *Mass Wasting*. (<http://myweb.cwpost.liu.edu>, diakses pada Januari 2017).
- Mikhail, E. M. & Gracie, G. 1981. *Analysis & Adjustment of Survey Measurement*. New York: Van Nonstrand Reinhold Company.

- Myers, R. H. & Walpole, R. E. 1995. *Ilmu Peluang dan Statistika untuk Insinyur dan Ilmuwan*. Bandung: Institut Teknologi Bandung.
- Prawoko, A. A. 2008. *Pemantauan Land Subsidence untuk Daerah Sekitar Semburan Lumpur Sidoarjo Dengan Menggunakan GPS*. Surabaya: Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Riduwan & Sunarto. 2007. *Pengantar Statistika untuk Penelitian Pendidikan, Sosial, Ekonomi, dan Bisnis*. Bandung: Alfabeta.
- Safi'i, A. N. 2014. *Analisis Ketelitian Titik Kontrol Horizontal pada Pengukuran Deformasi Jembatan Penggaron Menggunakan Software Gamit 10.5*. Semarang: Universitas Diponegoro.
- Sudarsono, K. P. 2017. *Evaluasi Penurunan Tanah Kawasan Lumpur Sidoarjo Menggunakan GPS Geodetik dan Perangkat Lunak GAMIT/GLOBK*. Surabaya: Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember
- Sudjana. 2002. *Metode Statistika*. Bandung: Trasiato.
- Surabaya. 2014. *Jumlah Hotel (Di Surabaya), Kamar, Tempat Tidur Dan Tenaga Kerja Menurut Klasifikasi Hotel Berbintang*. (www.surabaya.go.id/files.php?id=70 , diakses pada April 2017)
- U. S. Geological Survey. No date. *Wetland Subsidence, Fault Reactivation, and Hydrocarbon Production in the U.S. Gulf Coast Region*. (<http://pubs.usgs.gov/fs/fs091-01/>, diakses pada Oktober 2016).
- Waltham, T., et al. 2005. *Sinkholes and Subsidence: Karst and Cavernous Rocks in Engineering and Construction*. United Kingdom: Springer.
- Wolf, P. R. & Ghilani, C. D. 2006. *Adjustment Computations Spatial Data Analysis*. New Jersey: John Wiley.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

LAMPIRAN

LAMPIRAN 1

Control Files GAMIT/GLOBK

File sittbl.

```
SITE          FIX      --COORD.CONSTR.--
      << default for regional stations >>
ALL          NNN      100. 100. 100.
      << IGS core stations >>
BAKO BAKO_GPS  NNN      0.001 0.001 0.01
CNMR CNMR_GPS  NNN      0.001 0.001 0.01
COCO COCO_GPS  NNN      0.001 0.001 0.01
DARW DARW_GPS  NNN      0.001 0.001 0.01
GUAM GUAM_GPS  NNN      0.001 0.001 0.01
KARR KARR_GPS  NNN      0.001 0.001 0.01
NNOR NNOR_GPS  NNN      0.001 0.001 0.01
PIMO PIMO_GPS  NNN      0.001 0.001 0.01
XMIS XMIS_GPS  NNN      0.001 0.001 0.01
```

File Process.defaults

```
# process.defaults
#
# Do not remove any of these entries. To by-pass a function, set the value to null: ""

## LOCAL DIRECTORIES
# Directory for translation of raw data
set rawpth = "$sprocdir/raw"
# Directory path for raw archives (search all levels); e.g. /data18/simon
set rawfnd = ""
# Input files for RINEX translators
set npth = "$sprocdir/nkrinex"
# RINEX files directory
set rpth = "$sprocdir/rinex"
# Directory path for RINEX archives (search all levels); e.g. /data18/simon
set rxfnd = ""
# Broadcast orbit directory
set bpth = "$sprocdir/brdc"
# IGS files directory
set ipth = "$sprocdir/lgs"
# G-files directory
set gpth = "$sprocdir/gfiles"
# GAMIT and GLOBK tables directory
set tpth = "$sprocdir/tables"
# Output gifs directory
set gifpth = "$sprocdir/gifs"
# Globk solution directory
set glbpth = "$sprocdir/gsoln"
# Globk binary h-file directory
set glfpth = "$sprocdir/glbfr"
# Directory path for other h-files (LA, LB, LC options; search all levels)
# e.g. /raid1/tah/SIO_GLL; ( /raid6/ftp/pub/MIT_GLL/H07 /raid2/simon/gps_analysis/cgps_hfiles )
set hfnd = ""
```

File Sites.defaults

```
# File to control the use of stations in the processing
#
# Format: site expt keyword1 keyword2 ....
#
#
# automatically and do not need to be listed.
#
# ftpnrx = sites to ftp from rinex data archives.
# ftpraw = sites to ftp from raw data archives.
# localrx = site names used to search for rinex files on your local system.
#           (required in conjunction with rxnfxnd path variable set in process.defaults).
# xstinfo = sites to exclude from automatic station.info updating.
# xsite   = sites to exclude from processing, all days or specified days
#
# Replace 'expt' with your experiment name and edit the following to list sites needed from external archive
all_sites kalt xstinfo
bako_gps kalt localrx xstinfo
cmf_gps kalt localrx xstinfo
coco_gps kalt localrx xstinfo
darw_gps kalt localrx xstinfo
guam_gps kalt localrx xstinfo
karr_gps kalt localrx xstinfo
nnor_gps kalt localrx xstinfo
ptno_gps kalt localrx xstinfo
xmis_gps kalt localrx xstinfo
its1_gps kalt localrx xstinfo
knjr_gps kalt localrx xstinfo
klnk_gps kalt localrx xstinfo
kota_gps kalt localrx xstinfo
rnkt_gps kalt localrx xstinfo
sbrr_gps kalt localrx xstinfo
waru_gps kalt localrx xstinfo
# templates for removing sites
ttth_gps expt xsite:1999_256-1999_278 glreps xsite:1999_300-1999_365
```

File globk.cmd

```
* GLOBK command file to generate daily time series and to combine
* h-files over 2 to 30 days.
*
* For combination, set COMB as a globk command-line option to
* invoke the saving of the output h-file
*
* Last edited by rwk 130701
*
* << column 1 must be blank if not comment >>
*
* This group of commands must appear before any others:
srt_file @.srt
srt_dir +1
eq_file ~/gg/tables/IGS08_disc.eq
# Optionally add a second eq_file for analysis-specific renames
* End commands that must appear first
*
* ITRF2008 augmented by now-defunct sites and recent IGS solutions;
# matched to itr08_comb.eq
apr_file ~/gg/tables/itr08.apr
# Optionally add additional apr files for other sites
x ../tables/apr_file regional.apr
*
* Set maximum chi2, prefit coordinate difference (m), and rotation (mas) for an h-file to be used;
max_chi1 13 3 100
# increase tolerances to include all files for diagnostics
x max_chi 100 5.0 20000
*
# Not necessary unless combining h-files with different a priori EOP
in_pmu ../tables/pmu.usno
*
* Invoke glorg
org_cmd glorg_comb.cmd
```

File globk.cmd

```
* Print file options
crt_opt NOPR
prt_opt NOPR GDLF CMDS MIDP BLEN UTM
org_opt PSUM CMDS GDLF MIDP FIXA RNRP BLEN UTM
# sh_glrred will name the glorg print files
x org_out globk_comb.org

* Coordinate parameters to be estimated and a priori constraints
apr_neu all 10 10 10 0 0 0

* Rotation parameters to be estimated and a priori constraints
apr_wob 10 10 0 0
apr_ut1 10 0
# If combining with global h-files, allow EOPS to change
# between days
x mar_wob 3650 3650 365 365
x mar_ut1 365 365
# EOP tight if translation-only stabilization in glorg
x apr_wob .25 .25 .1 .1
x apr_ut1 .25 .1

* Write out a combined H-file
# Can substitute your analysis name for 'COMB' in the file name below
COMB_out_glb H-----_COMB.GLX

* Optionally put a uselist and/or sig_neu and mar_neu reweight in a source file
x source ../tables/uselist
x source ../tables/daily_reweights

* Turn off quake log estimates if in the eq_file
free_log -1

* Remove scratch files for repeatability runs
del_scrs yes
```

```
* Correct the pole tide when not compatible with GAMIT
app_ptid all
* If orbits free in GAMIT (RELAX) and you want them fixed, use:
x apr_svs all F F F F F FR
* but if you are combining with globk h-files, better to leave them
* on but, if the models are incompatible, turn off radiation-pressure parameters,
x apr_svs all 100 100 100 10 10 10 0R

* When using MIT GLX files which have satellite phase center positions
* estimated use:
apr_svan all F F F ! Fix antenna offset to IGS apriori values.
```

File glorg.cmd

```
* Glorg command file for daily repeatabilities or combinations
* Last edited by rwk 130701

* Parameters to be estimated
pos_org xtran ytran ztran xrot yrot zrot
# or if translation-only
x pos_org xtran ytran ztran

* Downweight of height relative to horizontal (default is 10)
# Heavy downweight if reference frame robust and heights suspect
x cnd_hgt 1000

* Controls for removing sites from the stabilization
# Vary these to make the stabilization more robust or more precise
stab_it 4 0.8 3.0
x stab_it 4 0.5 4.0

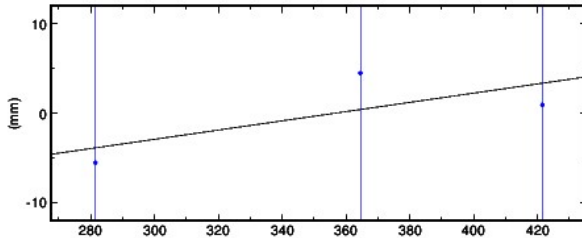
* A priori coordinates
# ITRF2008 may be replaced by an apr file from a priori velocity solution
apr_file ~/gg/tables/itrf08.apr
x apr_file ../../tables/regional.apr

* List of stabilization sites
# This should match the well-determined sites in the apr_file
stab_site clear
source ~/gg/tables/stab_site.global
x source ../../tables/regional_stab_site
```

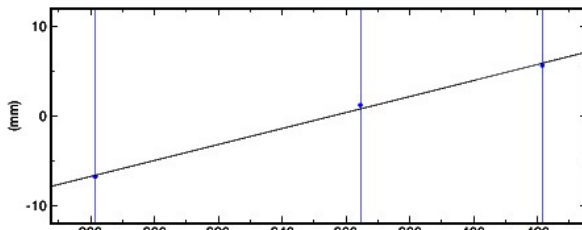

LAMPIRAN 2

Plot Time Series Stasiun Pengamat

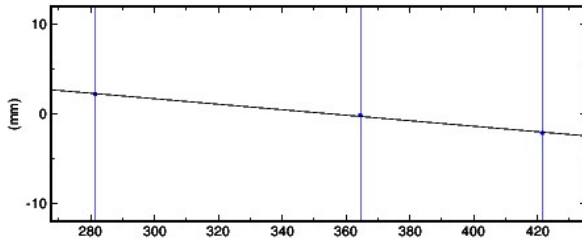
ITS1 North Offset -810340.981 m
rate(mm/yr)= 18.83 ± 1133.63 nrms= 0.02 wrms= 5.0 mm #3



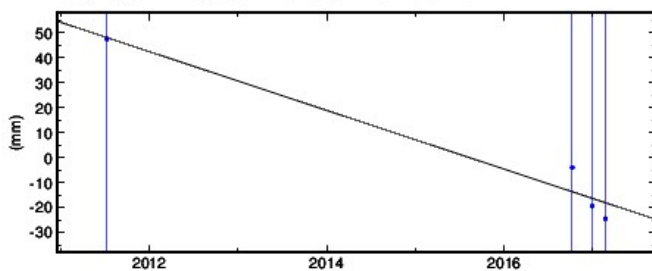
ITS1 East Offset 12454587.289 m
rate(mm/yr)= 32.61 ± 1135.08 nrms= 0.00 wrms= 0.5 mm #3



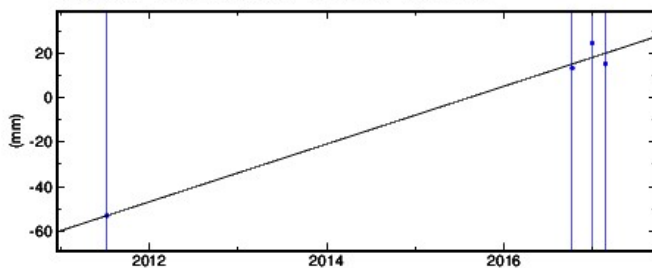
ITS1 Up Offset 32.047 m
rate(mm/yr)= -11.21 ± 266.85 nrms= 0.00 wrms= 0.2 mm #3



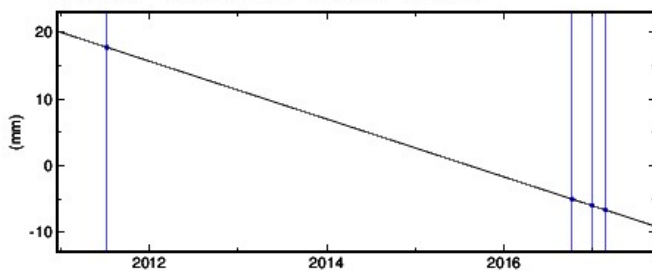
KJRN North Offset -803947.626 m
 rate(mm/yr)= -11.77 ± 65.84 nrms= 0.03 wrms= 8.6 mm # 4



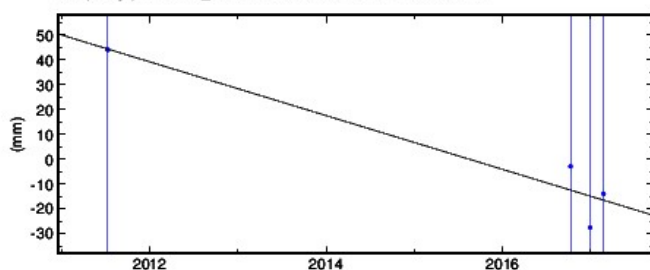
KJRN East Offset 12454773.554 m
 rate(mm/yr)= 13.03 ± 68.08 nrms= 0.02 wrms= 5.5 mm # 4



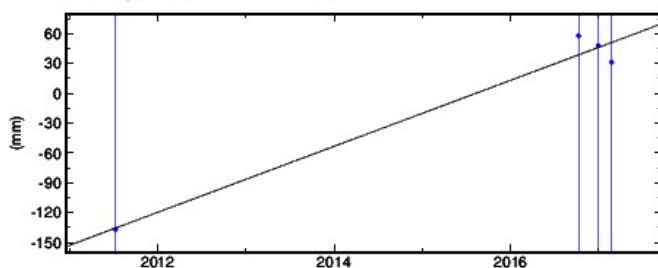
KJRN Up Offset 32.047 m
 rate(mm/yr)= -4.35 ± 22.75 nrms= 0.00 wrms= 0.0 mm # 4



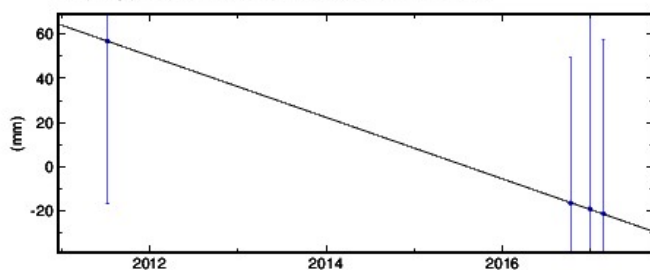
KLNK North Offset -804857.716 m
 rate(mm/yr)= -10.83 ± 65.65 nrms= 0.04 wrms= 11.3 mm # 4



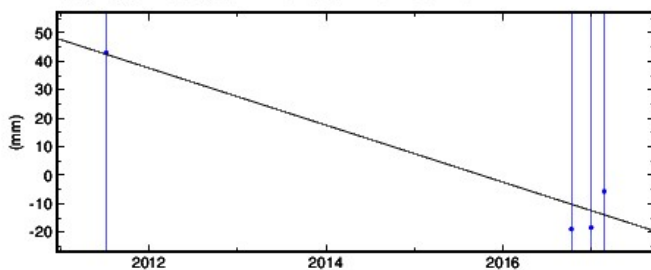
KLNK East Offset 12447024.762 m
 rate(mm/yr)= 33.21 ± 65.75 nrms= 0.06 wrms= 19.7 mm # 4



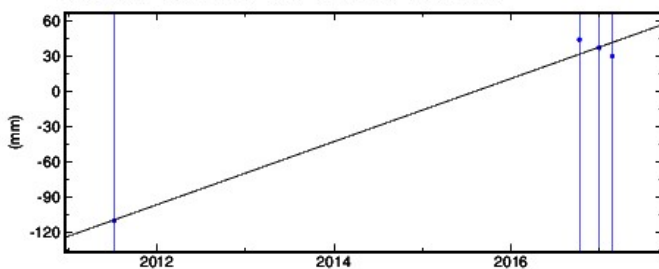
KLNK Up Offset 31.898 m
 rate(mm/yr)= -13.93 ± 16.42 nrms= 0.00 wrms= 0.3 mm # 4



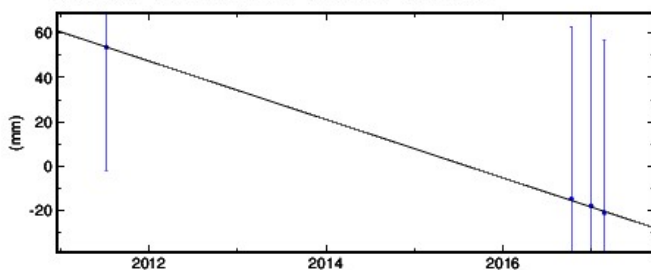
KOTA North Offset -809034.569 m
 rate(mm/yr)= -10.02 ± 69.41 nrms= 0.03 wrms= 9.8 mm # 4



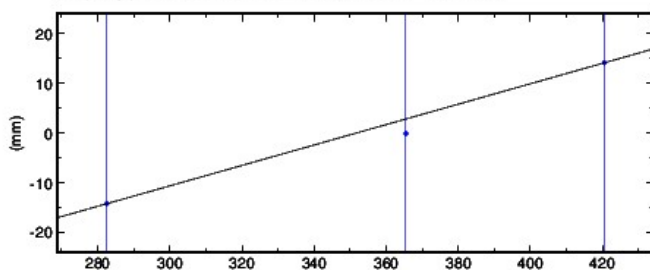
KOTA East Offset 12449813.117 m
 rate(mm/yr)= 26.88 ± 69.47 nrms= 0.04 wrms= 13.8 mm # 4



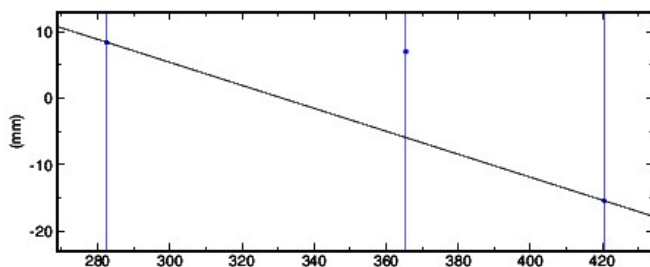
KOTA Up Offset 33.587 m
 rate(mm/yr)= -13.18 ± 14.35 nrms= 0.01 wrms= 0.7 mm # 4



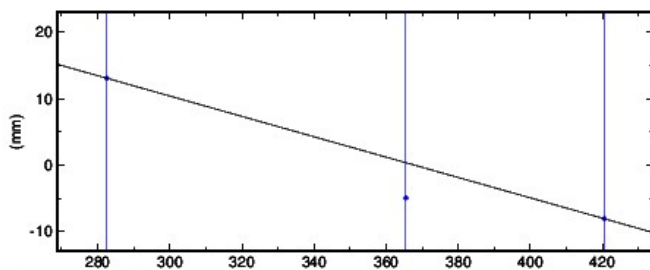
RNKT North Offset -815907.206 m
 rate(mm/yr)= 74.87 ± 1156.67 nrms= 0.00 wrms= 0.2 mm # 3



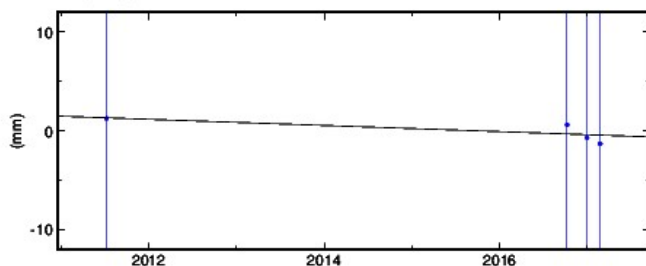
RNKT East Offset 12448505.738 m
 rate(mm/yr)= -63.15 ± 1165.67 nrms= 0.00 wrms= 1.0 mm # 3



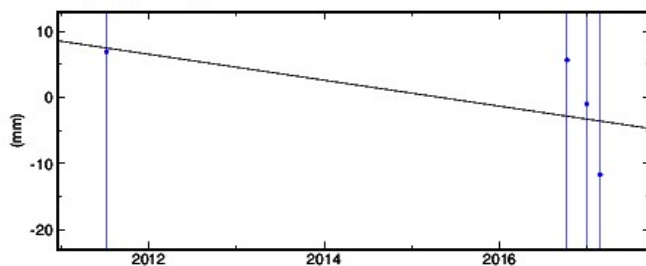
RNKT Up Offset 33.009 m
 rate(mm/yr)= -56.01 ± 319.32 nrms= 0.00 wrms= 0.1 mm # 3



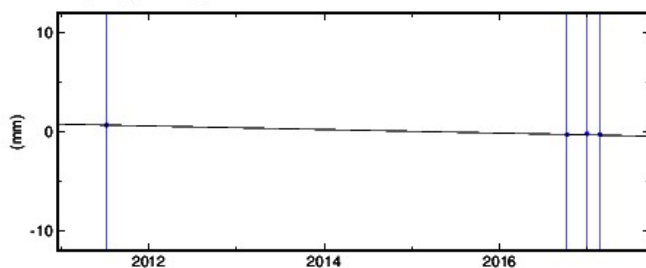
SBRT North Offset -812657.913 m
 rate(mm/yr)= -0.31 ± 69.48 nms= 0.00 wms= 1.0 mm # 4



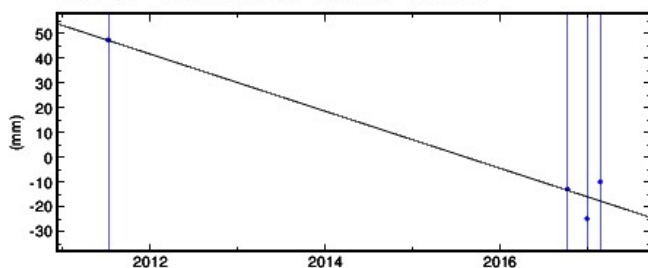
SBRT East Offset 12444823.590 m
 rate(mm/yr)= -1.97 ± 69.60 nms= 0.03 wms= 9.6 mm # 4



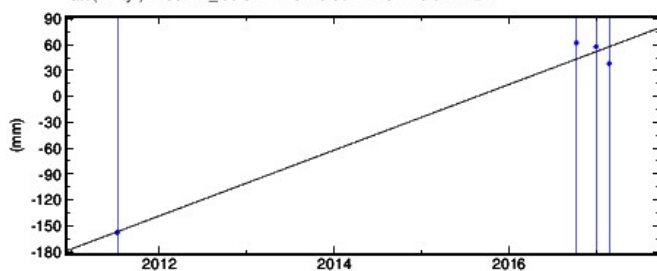
SBRT Up Offset 43.349 m
 rate(mm/yr)= -0.18 ± 15.63 nms= 0.00 wms= 0.1 mm # 4



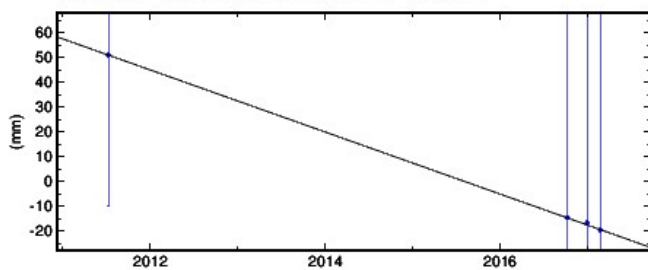
WARU North Offset -817645.521 m
 rate(mm/yr)= -11.52 ± 65.59 nrms= 0.03 wrms= 8.2 mm # 4



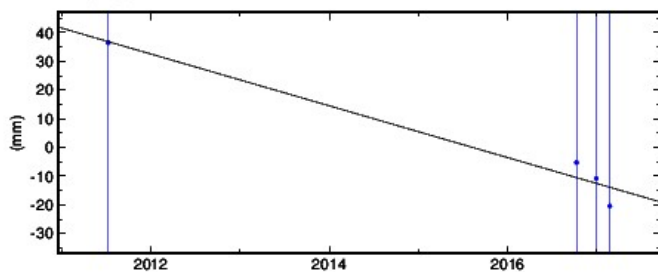
WARU East Offset 12445976.593 m
 rate(mm/yr)= 38.17 ± 66.57 nrms= 0.06 wrms= 18.9 mm # 4



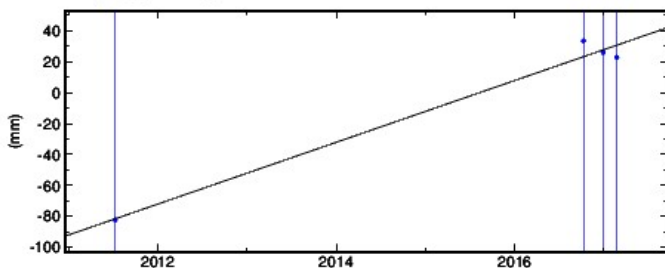
WARU Up Offset 34.999 m
 rate(mm/yr)= -12.53 ± 26.40 nrms= 0.00 wrms= 0.2 mm # 4



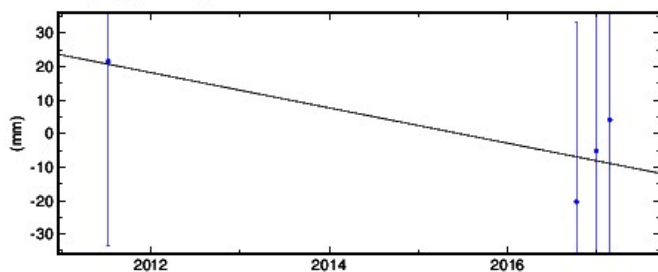
BAKO North Offset -722580.956 m
 rate(mm/yr)= -9.02 ± 65.35 nrms= 0.02 wrms= 6.0 mm # 4



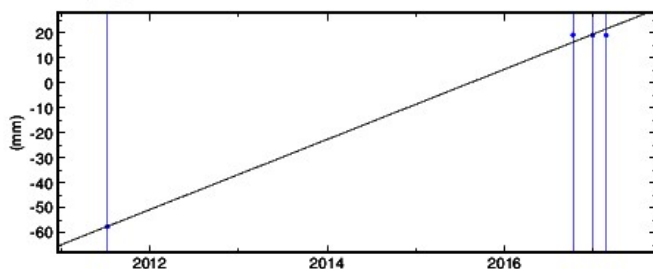
BAKO East Offset 11818099.846 m
 rate(mm/yr)= 19.98 ± 65.45 nrms= 0.03 wrms= 9.3 mm # 4



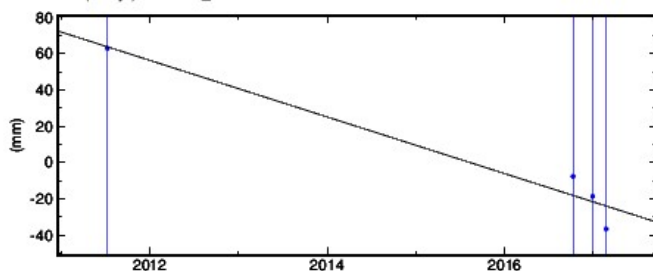
BAKO Up Offset 158.080 m
 rate(mm/yr)= -5.27 ± 11.75 nrms= 0.23 wrms= 13.1 mm # 4



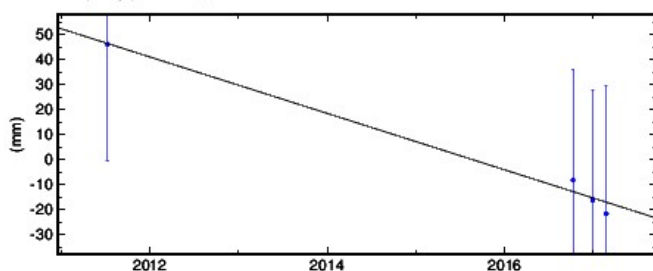
CNMR_GTO North Offset 1695362.181 m
 rate(mm/yr)= 14.05 ± 65.51 nrms= 0.01 wrms= 2.7 mm # 4



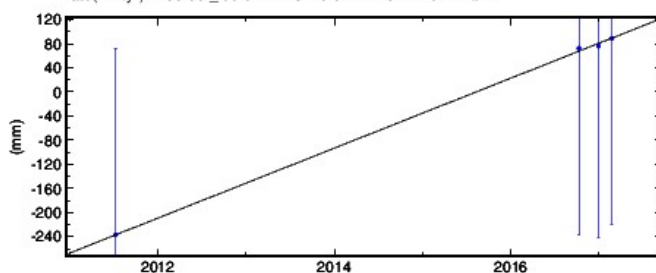
CNMR_GTO East Offset 15654317.116 m
 rate(mm/yr)= -15.58 ± 65.62 nrms= 0.04 wrms= 11.8 mm # 4



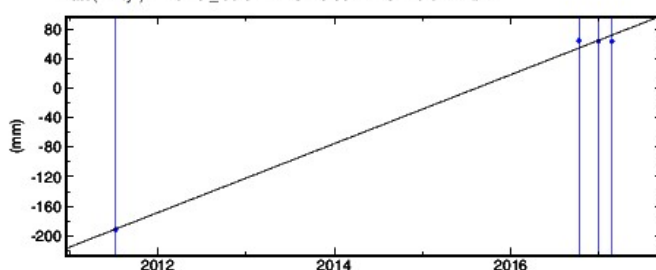
CNMR_GTO Up Offset 64.371 m
 rate(mm/yr)= -11.30 ± 9.85 nrms= 0.10 wrms= 4.6 mm # 4



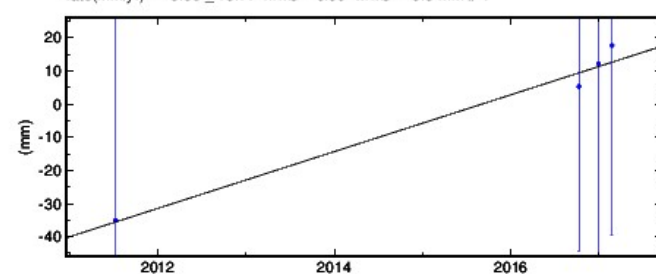
COCO_4PS North Offset -1356800.320 m
 rate(mm/yr)= 58.03 ± 65.62 nrms= 0.01 wrms= 4.6 mm # 4



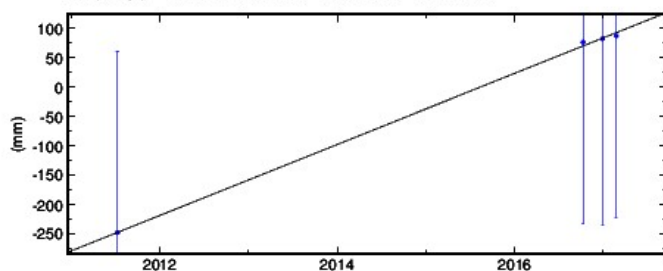
COCO_4PS East Offset 10536578.519 m
 rate(mm/yr)= 46.78 ± 66.34 nrms= 0.03 wrms= 9.6 mm # 4



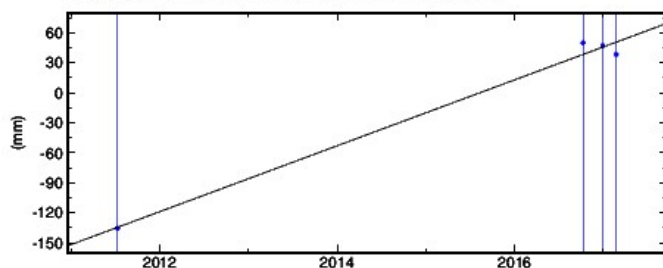
COCO_4PS Up Offset -35.424 m
 rate(mm/yr)= 8.56 ± 13.77 nrms= 0.09 wrms= 5.5 mm # 4



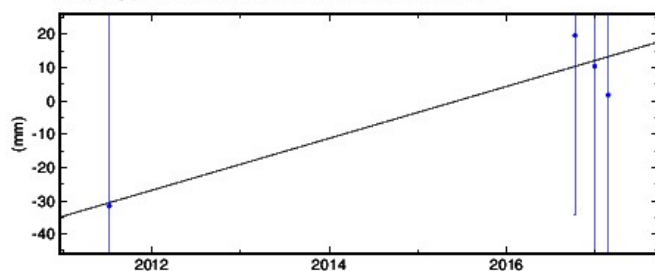
DARW_3PS North Offset -1429754.344 m
 rate(mm/yr)= 60.43 ± 65.62 nrms= 0.02 wrms= 6.1 mm # 4



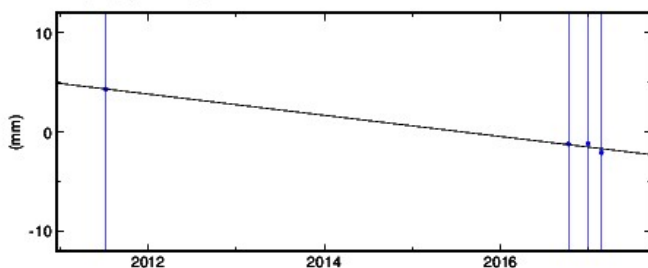
DARW_3PS East Offset 14232434.979 m
 rate(mm/yr)= 32.96 ± 65.97 nrms= 0.04 wrms= 12.3 mm # 4



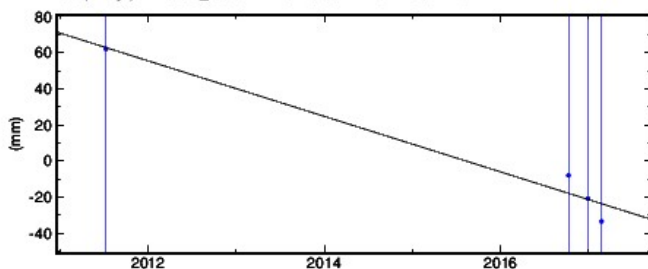
DARW_3PS Up Offset 124.997 m
 rate(mm/yr)= 7.79 ± 14.80 nrms= 0.18 wrms= 12.5 mm # 4



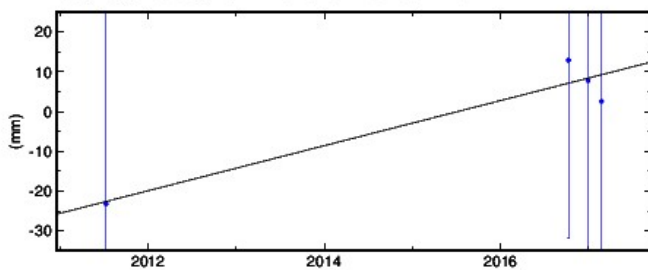
GUAM_4TO North Offset 1512757.282 m
 rate(mm/yr)= -1.07 ± 65.74 nrms= 0.00 wrms= 0.4 mm # 4



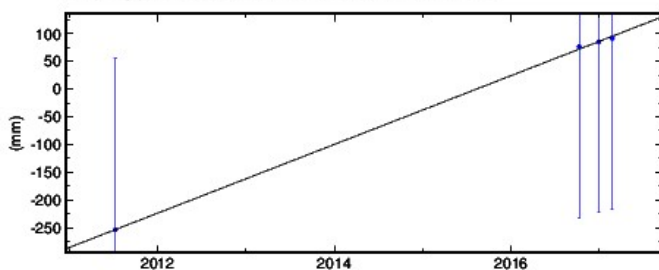
GUAM_4TO East Offset 15675135.013 m
 rate(mm/yr)= -15.36 ± 65.82 nrms= 0.03 wrms= 9.9 mm # 4



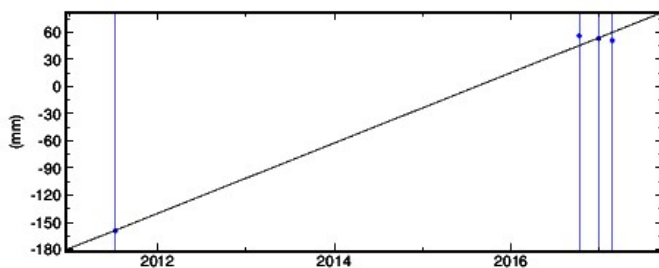
GUAM_4TO Up Offset 201.813 m
 rate(mm/yr)= 5.67 ± 11.51 nrms= 0.13 wrms= 6.3 mm # 4



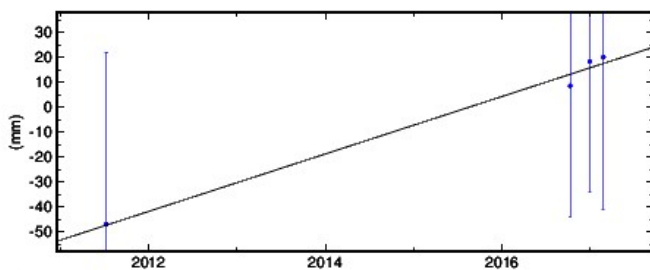
KARR North Offset -2335641.835 m
 rate(mm/yr)= 62.11 ± 65.52 nrms= 0.01 wrms= 4.4 mm # 4



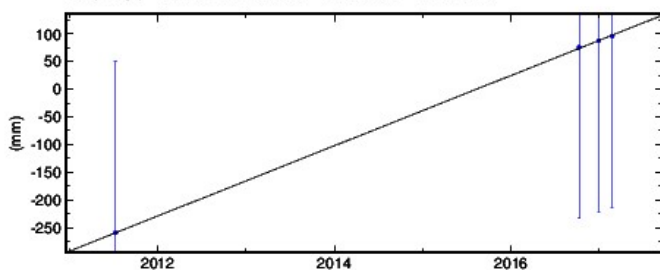
KARR East Offset 12170880.614 m
 rate(mm/yr)= 38.86 ± 65.49 nrms= 0.03 wrms= 9.9 mm # 4



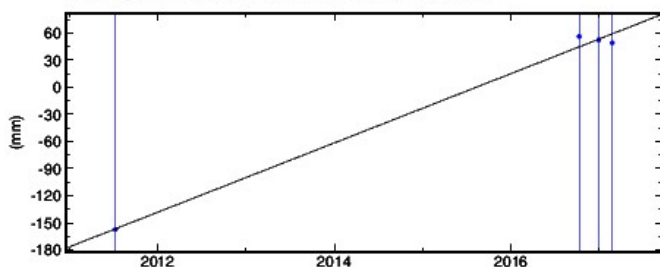
KARR Up Offset 109.031 m
 rate(mm/yr)= 11.54 ± 13.98 nrms= 0.08 wrms= 4.4 mm # 4



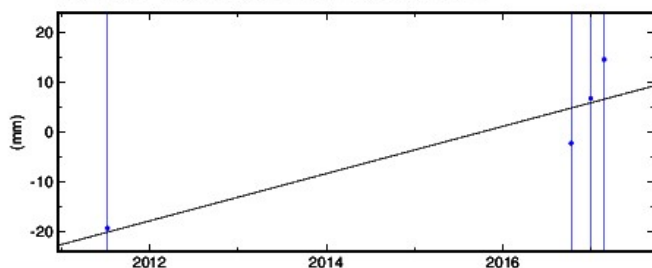
NNOR North Offset -3456329.111 m
 rate(mm/yr)= 63.58 ± 65.69 nrms= 0.01 wrms= 1.7 mm # 4



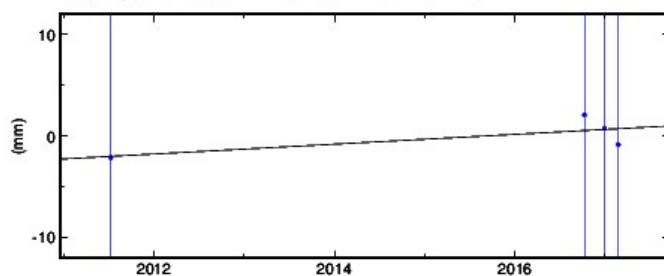
NNOR East Offset 11081365.654 m
 rate(mm/yr)= 38.32 ± 65.48 nrms= 0.03 wrms= 10.8 mm # 4



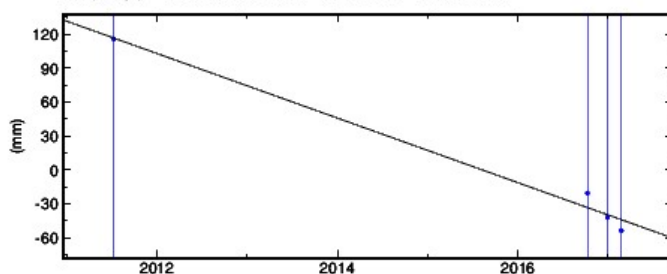
NNOR Up Offset 234.734 m
 rate(mm/yr)= 4.75 ± 12.71 nrms= 0.15 wrms= 7.7 mm # 4



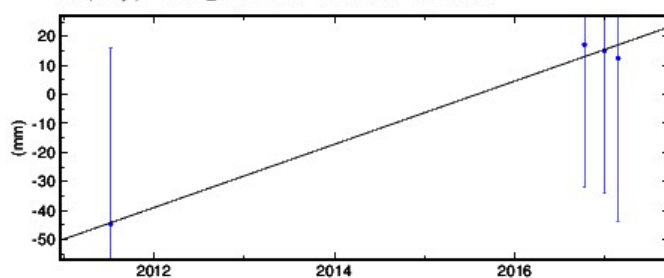
PIMO_4TO North Offset 1629240.953 m
 rate(mm/yr)= 0.48 ± 65.74 nrms= 0.01 wrms= 1.6 mm # 4



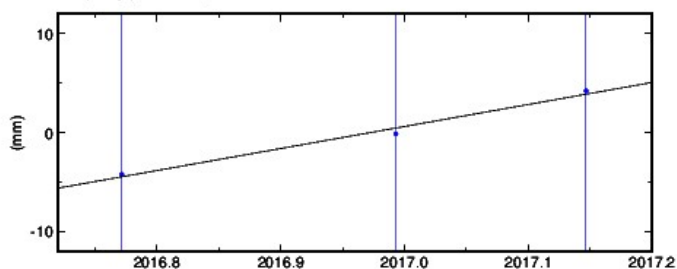
PIMO_4TO East Offset 13040948.355 m
 rate(mm/yr)= -28.59 ± 65.50 nrms= 0.04 wrms= 11.5 mm # 4



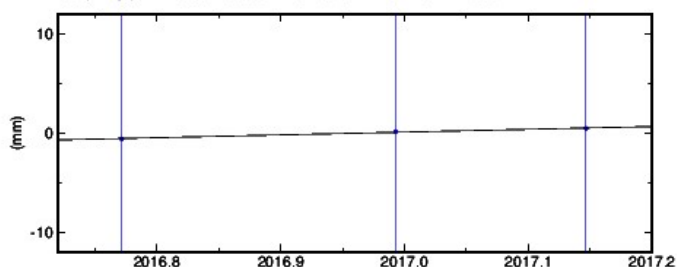
PIMO_4TO Up Offset 95.410 m
 rate(mm/yr)= 10.89 ± 12.34 nrms= 0.08 wrms= 4.4 mm # 4



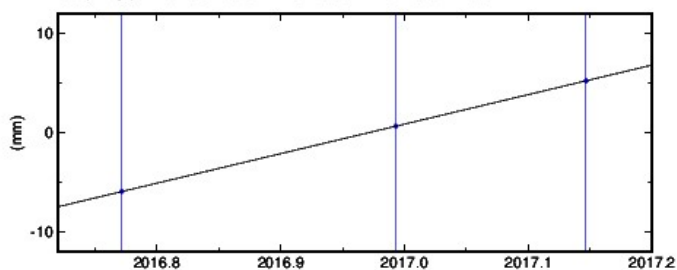
XMIS North Offset -1163284.333 m
 rate(mm/yr)= 22.21 ± 1158.90 nrms= 0.00 wrms= 0.7 mm # 3



XMIS East Offset 11570011.984 m
 rate(mm/yr)= 2.81 ± 1160.90 nrms= 0.00 wrms= 0.1 mm # 3



XMIS Up Offset 261.445 m
 rate(mm/yr)= 29.79 ± 213.81 nrms= 0.00 wrms= 0.0 mm # 3



BIODATA PENULIS



Rega Hangasta Gienputra Lahir di Depok pada tanggal 10 Maret 1995. Anak pertama dari tiga bersaudara dari pasangan Sugiyono dan Nurlailis. Pendidikan formal yang ditempuh penulis antara lain SDN Sudirman I Makassar, SMP Negeri 23 Surabaya, dan SMA Negeri 6 Depok. Tahun 2013, penulis yang akrab dipanggil Rega ini diterima pada Program Studi Teknik Geomatika FTSP-ITS. Selama menjalani perkuliahan, penulis juga

cukup aktif di berbagai organisasi jurusan, fakultas dan institut, diantaranya penulis merupakan Ketua Departemen Hubungan Luar HIMAGE-ITS 2015/2016, Asisten Dirjen Maritim dalam Kementrian Energi dan Maritim BEM ITS 2015/2016, dan Wakil Ketua Munas IMG I 2014. Penulis mengambil penelitian tugas akhir di bidang keahlian ilmu Geodinamika dengan judul “Evaluasi Penurunan Tanah Wilayah Kota Surabaya dan Percepatannya dengan GPS Geodetik dan Perangkat Lunak GAMIT”.